



**João Tavares de Melo Gaspar**

Licenciado em Ciências de Engenharia Mecânica

**Desenvolvimento de um dispositivo para  
aparafusamento do teto panorâmico de um  
veículo automóvel**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Mecânica

Orientador: Professor Doutor Alberto José Antunes Marques  
Martinho, Professor Auxiliar, Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Prof. Doutor António José Freire Mourão  
Arguente: Prof. Doutor António Gabriel Marques Duarte dos Santos  
Vogal: Prof. Doutor Alberto José Antunes Marques Martinho



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Dezembro 2017**



**João Tavares de Melo Gaspar**

Licenciado em Ciências de Engenharia Mecânica

**Desenvolvimento de um dispositivo para  
aparafusamento do teto panorâmico de um  
veículo automóvel**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Mecânica

Orientador: Professor Doutor Alberto José Antunes Marques  
Martinho, Professor Auxiliar, Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Prof. Doutor António José Freire Mourão  
Arguente: Prof. Doutor António Gabriel Marques Duarte dos Santos  
Vogal: Prof. Doutor Alberto José Antunes Marques Martinho

**Dezembro 2017**



**Desenvolvimento de um dispositivo para aparafusamento do teto panorâmico de um veículo automóvel**

Copyright © 2017 João Tavares de Melo Gaspar, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



## Agradecimentos

Ao Professor Alberto José Antunes Marques Martinho, orientador deste projeto, pela grande disponibilidade demonstrada e por todo o apoio dado, sem o qual não teria sido possível terminar este trabalho.

Ao Sr. João Andrade pelo apoio, disponibilidade e, para além disso, pelo material e informação relativa a diversos componentes importantes da minha tese.

Um agradecimento muito especial à minha família, e em especial aos meus pais por me darem todos os meios necessários para ter sucesso e por me obrigarem sempre a fazer um esforço maior quando me encontrava nas fases mais difíceis.

Gostava também de agradecer a todos os meus amigos e colegas pela amizade e apoio que demonstraram e, por último, gostava de agradecer à minha namorada por me ajudar a superar as dificuldades com que me deparei ao longo do meu percurso académico e me apoiar quando precisei.





## Resumo

Neste trabalho propõe-se uma solução para aumentar o nível de automação de uma estação de trabalho de uma empresa de construção automóvel para, deste modo, permitir o aumento da cadência da estação, melhorando também o conforto dos operadores.

A estação de trabalho visada neste trabalho corresponde ao aparafusamento do teto panorâmico. O projeto incide no aparafusamento propriamente dito e no alinhamento automático do teto panorâmico com o chassis.

Para tal, foram definidos equipamentos que permitissem tanto o aparafusamento como o controlo de cada ligação e, para além disso, foi criado também um mecanismo telescópico adaptável ao equipamento escolhido que permite que este não tenha de se movimentar relativamente ao parafuso.

Relativamente ao alinhamento, escolheu-se o uso do processamento de imagem, ou seja, uma imagem é registada e um código interpreta a imagem e dando a indicação do movimento a realizar para assegurar o alinhamento.

No final, faz-se uma análise dos custos desta solução para poder avaliar a viabilidade do projeto.

### **Palavras-chave:**

Aparafusadora

Parafuso

Processamento de imagem

Mecanismo telescópico

Automação



## Abstract

In this thesis, a solution was suggested to increase the level of automation on a workstation in an automotive manufacturing company, thus, this would increase the cadence of the workstation, improving the employees' comfort.

The workstation affected by the project refers to the fastening of the sunroof. The solution, on one hand, tackles the problem of actually screwing in the bolts, on the other hand, it automatically aligns the holes where the bolts will be fastened.

Firstly, the proper equipment that allowed, not only the fastening, but also the control of each union was chosen, furthermore, a telescopic mechanism adaptable to the stationary screwdriver that has been chosen was designed so that this equipment does not need to have movement relative to the screw.

Afterwards, the use of image processing was defined, in other words, an image is registered and a code will scan said image and determine the exact command that must be given to align every component.

Lastly, a cost analysis of this solution is done to determine the viability of this project.

### **Keywords:**

Screwdriver

Bolts

Image processing

Telescopic mechanism

Automation



# Índice

1	Introdução .....	1
1.1	Motivação .....	1
1.2	Objetivos .....	1
1.3	Estrutura da tese .....	2
2	Conceitos utilizados .....	3
2.1	Parâmetros de aparafusamento.....	3
2.1.1	Força de pré-carga.....	3
2.1.2	Momento de força .....	3
2.1.3	Variação de atrito .....	4
2.1.4	Ângulo.....	5
2.1.5	Velocidade .....	6
2.1.6	Relaxação .....	7
2.2	Controlo de processo.....	7
2.2.1	Controlo do momento de força .....	8
2.2.2	Controlo do momento de força e ângulo .....	9
2.2.3	Outros métodos de controlo .....	10
2.3	Aparafusadoras .....	10
2.3.1	Aparafusamento manual .....	11
2.3.2	Aparafusamento automático .....	12
2.3.3	Tipos de motores .....	14
2.3.4	Controladores .....	15
2.4	Alinhamento do teto panorâmico com a carroçaria do automóvel.....	15
2.4.1	Processamento de imagem .....	16
3	Enquadramento do projeto .....	19
3.1	Sequência de operações atual.....	19
3.2	Problemas com a sequência atual.....	23
3.3	Requisitos funcionais .....	23
3.3.1	Descrição da solução a desenvolver.....	24

4	Desenvolvimento da nova solução.....	28
4.1	Composição modular do projeto .....	28
4.2	Sistema de aparafusamento .....	29
4.3	Mecanismo telescópico .....	31
4.3.1	Apoio de parafuso .....	31
4.3.2	Manga de proteção .....	33
4.3.3	Manga exterior .....	34
4.3.4	Escolha íman .....	35
4.3.5	Escolha das molas .....	37
4.3.6	Manga telescópica.....	41
4.3.7	Escolha Rolamento .....	42
4.3.8	Escolha Freios .....	43
4.3.9	Bit.....	44
4.3.10	Ligação entre mecanismo telescópico e aparafusadora.....	45
4.4	Sistema de adaptação à mesa de suporte.....	47
4.5	Processamento de imagem .....	49
4.5.1	Como aplicar no projeto.....	49
4.5.2	Câmaras.....	51
4.6	Programação da aparafusadora .....	52
4.7	Montagem e desmontagem do mecanismo .....	54
5	Análise de custos.....	57
5.1	Custos.....	57
6	Conclusões .....	61
	Referências Bibliográficas .....	63
	ANEXOS .....	65
	Anexo A – Código em Matlab .....	66
	Anexo B – Desenhos referentes ao mecanismo telescópico .....	68

# Índice de Figuras

Figura 1 - Distribuição do momento de força numa ligação aparafusada [4].	4
Figura 2 - Gráfico momento de força de aperto - força pré-carga que ilustra o campo de diferentes valores devido à variação de fricção [1].	5
Figura 3 - Variação do fator de atrito (K) com a velocidade (rpm) [9].	6
Figura 4 - Gráfico tensão/tempo representativo do efeito da relaxação em ligações aparafusadas com diferentes materiais [10].	7
Figura 5 - Gráfico demonstrativo da influência da variação de atrito na força de pré-carga utilizando o ângulo como controlo [11].	9
Figura 6 - Gráfico momento de força-ângulo do funcionamento do método de controlo torque-angle window [1].	10
Figura 7 - Diagrama dos tipos de aparafusadoras.	11
Figura 8 - Exemplos de aparafusadoras manuais livres [13].	11
Figura 9 - Exemplo de aparafusadora guiada manualmente [12].	12
Figura 10 - Exemplo de aparafusadora semiautomática [12].	13
Figura 11 - Exemplo de aparafusadoras automáticas. (a) Scara, (b) Cartesiano e (c) Multi-eixos [12];[14].	13
Figura 12 - Processamento de imagem usando código em MATLAB.	17
Figura 13 - Guindaste de ventosas [18].	20
Figura 14 – Exemplo ilustrativo da mesa de suporte a utilizar.	21
Figura 16 – (a) Parafuso de cabeça "round washer" a ser utilizado no projeto. (b) Dimensões do parafuso usado no projeto.	22
Figura 16 - Exemplo de aparafusadora angle head.	24
Figura 17 - Aparafusadoras montadas na mesa de suporte com a orientação das furações do teto panorâmico.	25
Figura 18 - Esquema da composição modular do projeto.	29
Figura 19 - Modelo em perspetiva da parte superior da carroçaria e localização das furações.	30
Figura 20 - Orientação das aparafusadoras relativamente ao teto.	30
Figura 21 - Componentes que constituem o mecanismo telescópico.	31

Figura 22 - Pormenor do batente do parafuso representado em corte.....	32
Figura 23 - Pormenor da rosca entre os dois componentes do apoio do parafuso representado em corte. .....	32
Figura 24 - Ligação roscada entre a manga exterior e o apoio do parafuso que eleva o parafuso até posição final. ....	32
Figura 25 - À esquerda mecanismo exposto a fatores externos. À direita a manga de proteção resguarda o mecanismo. Representado em corte.....	33
Figura 26 - Dimensões da manga exterior. ....	34
Figura 27 - Funções da manga exterior representado em corte.....	34
Figura 28 - Dimensões do íman escolhido do catálogo da KJ Magnetics.....	35
Figura 29 - Montagem do íman no apoio do parafuso representada em corte. ....	36
Figura 30 – Efeito da distância na densidade de fluxo magnético do íman escolhido [20]. ....	36
Figura 31 - Gráfico força de atração em função da distância [20]......	37
Figura 32 - Imagem do funcionamento da mola no sistema telescópico representado em corte. ....	38
Figura 33 - Gráfico que demonstra o comportamento da mola a caracterizar. ....	39
Figura 34 - Pormenor do furo hexagonal da manga telescópica. ....	41
Figura 35 - Pormenores da manga telescópica representada em corte.....	42
Figura 36 - Representação da configuração dos rolamentos presentes no mecanismo representada em corte. ....	43
Figura 37 - Pormenor da localização do freio representado em corte.....	44
Figura 38 – Pormenor do batente do pino representado em corte.....	45
Figura 39 - Tipos de peças para ligar mecanismo à aparafusadora.....	45
Figura 40 - Dimensões gerais do encosto. ....	46
Figura 41 - Dimensões gerais da placa de aço (à esquerda) e braçadeira (à direita).....	46
Figura 42 - Dimensões gerais da anilha. ....	47
Figura 43 - Função da anilha na ligação da placa ao mecanismo representada em corte. ....	47
Figura 44 - Todas as aparafusadoras alinhadas e apoiadas na mesa de suporte.....	48
Figura 45 - Dimensões gerais da chapa quinada (direita). Chapa unida com o perfil U (esquerda). ....	48



Figura 46 - Exemplo de mecanismo e aparafusadora ligados à base. ....	49
Figura 47 - Dimensões gerais da chapa com furação extra. ....	49
Figura 48 - Casos simplificados das imagens que a câmara irá captar antes de orientar a mesa. ....	50
Figura 49 - Identificação das circunferências através do código de MATLAB. ....	50
Figura 50 - Câmara de endoscopia. ....	52
Figura 51 - Sequência de ações das aparafusadoras. ....	53
Figura 52 - Sequência de montagem do subconjunto do apoio do parafuso na manga exterior representada em corte. ....	54
Figura 53 - Sequência de montagem da manga telescópica representado em corte. ....	55
Figura 54 - Sequência de montagem da manga telescópica no restante conjunto representado em corte. ....	55
Figura 55 - Imagem do bit na sua posição na aparafusadora. ....	56
Figura 56 - Montagem dos componentes que ligam a aparafusadora com o mecanismo. ....	56



## Índice de tabelas

Tabela 1 - Comparação entre tipos de aparafusadoras [15]. .....	14
Tabela 2 - Sequência de operações proposta pelo projeto. ....	26
Tabela 3 - Operações eliminadas ou alteradas pela implementação do projeto. ....	27
Tabela 4 - Tabela com os valores das constantes A e m adaptada do livro Shigley's mechanical engineering design [21]. ....	40
Tabela 5 - Escolha da mola do catálogo Century Spring [24]. ....	41
Tabela 6 - Escolha dos rolamentos do catálogo da SKF [22]. ....	43
Tabela 7 - Escolha do freio do catálogo Fersilva [23]. ....	44
Tabela 8 - Dados obtidos pelo programa referentes ao caso simples apresentado. ....	51
Tabela 9 - Tabela de preços de aparafusadoras do fornecedor Deprag. ....	57



# Abreviaturas, Símbolos e Siglas

## Latim

A – Constantes dependentes do material da mola

B – Densidade de fluxo magnético

C – Índice da mola

D – Diâmetro de enrolamento do arame

d – Diâmetro do arame

$D_e$  – Diâmetro exterior da mola

$D_n$  – Diâmetro nominal do parafuso

F – Força de compressão exercida na mola

$F_m$  – Força do íman

$F_p$  – Força de pré-carga

G – Módulo de elasticidade torsional do material do arame

h – Altura do íman

K – Nut factor

$k_s$  – Fator de concentração de tensões

m – Constantes dependentes do material da mola

N – Número de espiras

$R_e$  – Raio exterior do íman

$R_i$  – Raio interior do íman

$T_{in}$  – Momento de força de aperto de um parafuso

U – Energia potencial da mola

Z – Distância mínima do parafuso ao íman

## Grego

$\mu$  – Coeficiente de atrito

$\delta$  – Deformação da mola

$\sigma_{rot}$  – Tensão de rotura

$\tau$  – Tensão máxima

$\tau_{adm}$  – Tensão admissível

$\tau_f$  – Tensão de corte produzida pelo esforço transversal (constante na seção)

$\tau_t$  – Tensão de corte produzida pelo momento torsor (depende do ponto)

## Lista de abreviaturas

CATIA - Computer Aided Tridimensional Interactive Application (Aplicação Interativa Tridimensional Assistida por Computador)

---

CNC – Computer Numeric Control (Controlo Numérico Computarizado)

---

DIN - Deutsches Institut für Normung (Instituto Alemão para Normalização)

---

ISO International Organization for Standardization (Organização Internacional de Padronização)

---

rpm - rotações por minuto

# 1

## Introdução

### 1.1 Motivação

Quando se pretende ligar peças e componentes, existe um grande número de opções. As ligações aparafusadas são muito utilizadas nos mais diversos setores da indústria graças às suas características singulares. A razão da sua popularidade, é o facto de estas permitirem uma fácil e rápida montagem, mas, para além disso, assegura ligações desmontáveis, seja para manutenção, substituição de peças ou até para transporte.

Este tipo de ligações são, normalmente, realizadas manualmente visto serem processos difíceis de automatizar.

No entanto, devido à obrigação, em especial nas indústrias mais exigentes como a aeronáutica e automóvel, de aumentar produtividade para se manterem competitivas no mercado, exige-se a diminuição de custos e tempos de produção cumprindo com os resultados esperados.

Logo, existe uma crescente necessidade de tornar os sistemas de aparafusamento automatizados para que estas operações sejam feitas de uma maneira mais rápida e eficiente.

Este trabalho insere-se nesta linha de raciocínio, tendo como propósito, aumentar o nível de automatização de uma operação de aparafusamento do teto panorâmico, de um veículo na linha de montagem de uma empresa de construção automóvel.

### 1.2 Objetivos

O objetivo principal desta dissertação é o de desenvolver um projeto de reformulação da estação de aparafusamento do teto panorâmico numa empresa de construção automóvel.

Este projeto irá basear-se no processo de montagem atualmente utilizado pretendendo-se desenvolver uma técnica de aparafusamento semiautomático do teto. A mesa de suporte atualmente utilizada na linha servirá de suporte a várias aparafusadoras fixas e movimentar as mesmas de modo a que estas possam realizar o aparafusamento.

Pretende-se, também, a criação de um método mais fácil e eficaz de alinhamento do suporte com a carroçaria do automóvel, para esse efeito, considera-se a utilização de processamento de imagem no desenvolvimento de um sistema automático de alinhamento dos furos do teto panorâmico com os furos da carroçaria.

### **1.3 Estrutura da tese**

No primeiro capítulo, faz-se uma introdução na qual são descritos os principais objetivos deste projeto, assim como, as motivações para o seu desenvolvimento. É ainda feita uma apresentação da estrutura geral da tese.

No segundo capítulo, é apresentado um estudo relativo aos fatores mais importantes a ter em conta na operação de aparafusamento e, as várias soluções disponíveis no mercado em relação ao tipo de aparafusadoras, o tipo de motor que estas têm, bem como o tipo de controladores existentes. Para além desse estudo, analisa-se também quais os métodos mais comuns para orientar os furos do teto panorâmico para que se possa proceder ao aparafusamento adequadamente.

De seguida, no terceiro capítulo, faz-se um enquadramento do sistema já implementado na estação de trabalho que se pretende modificar. Nesse capítulo faz-se uma análise de qual a solução inicial que servirá de base para o projeto, isto é, qual o equipamento usado e qual a sequência das operações a ser executadas pelo operador. Ainda neste capítulo, é feita uma análise de quais os pontos chave onde se pretende modificar o procedimento desta estação, ou seja, criar um sistema semiautomático de aparafusamento do parafuso de cabeça especial, bem como, criar um sistema para a orientação do suporte das aparafusadoras mais eficaz e fácil para o operador.

No quarto capítulo, são expostas quais as decisões de projeto tomadas bem como, as razões por detrás de cada escolha e o dimensionamento de cada componente. Estas opções têm como base as informações introduzidas anteriormente no segundo capítulo.

No quinto capítulo é feita uma projeção dos custos necessários para a realização do projeto.

Para finalizar, é apresentado um sexto capítulo onde são expressas conclusões relativamente à execução do projeto e à sua viabilidade face às opções construtivas e aos custos associados.



## Conceitos utilizados

Neste capítulo, são abordados os parâmetros mais relevantes a ter em conta numa operação de aparafusamento e, como estes afetam a viabilidade e segurança da ligação aparafusada, bem como, quais os métodos mais comuns de controlo dos mesmos para operações automatizadas. De seguida, e sendo o objetivo deste projeto o aparafusamento de um teto panorâmico, é essencial definir um equipamento adequado à finalidade do projeto para realizar a operação. Para isso, apresentam-se quais as opções disponíveis no mercado que podem ser selecionadas, bem como, as características essenciais de cada variante que permita uma posterior análise de qual o equipamento com melhor aplicabilidade para a finalidade do projeto. Por último, analisam-se alguns métodos de alinhar os furos do teto panorâmico com os correspondentes furos da carroçaria onde os parafusos devem ser apertados.

### 2.1 Parâmetros de aparafusamento

#### 2.1.1 Força de pré-carga

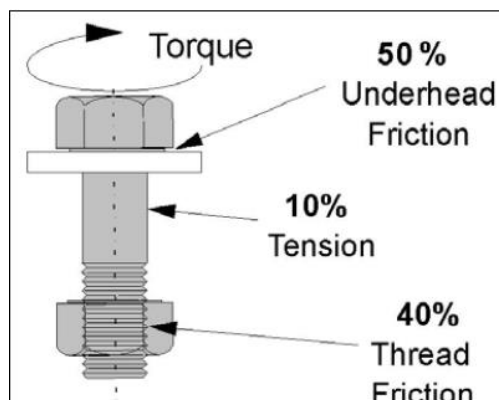
O objetivo do aparafusamento é criar uma força de compressão de modo a unir dois componentes, essa força é designada força de aperto [1]. Esta força aparece quando se fornece um momento de força na porca ou na cabeça do parafuso, o que irá obrigar as roscas macho e fêmea a deslizarem uma na outra, sendo que, os componentes a ligar atuam como corpos rígidos e o parafuso será deformado como uma mola, desenvolvendo uma tensão com uma correspondente força de tração. A esta força dá-se o nome de força de pré-carga [2].

Oposta a esta força de tração aparece uma reação, ou seja, uma força de compressão – força de aperto – que, em geral, caso não haja cargas aplicadas na ligação aparafusada é igual em módulo, mas oposta à força de pré-carga [2].

#### 2.1.2 Momento de força

Quando uma força é aplicada num corpo a uma certa distância do seu eixo de rotação, o corpo tende a rodar sobre esse eixo, esse fenómeno é quantificado pelo momento de força [3]. Numa ligação aparafusada, o aperto consegue-se por aplicação de um momento de força na porca ou na cabeça do parafuso para que a rosca macho deslize na rosca fêmea. Apenas 10% do momento de força fornecido,

como se pode verificar na figura 1, irá contribuir para criar tensão no parafuso que, como já foi visto, dá origem à força de aperto.



**Figura 1** - Distribuição do momento de força numa ligação aparafusada [4].

O momento de força está relacionado com a tensão que se vai criar no parafuso durante o aperto do mesmo, o que implica, que é possível fazer a relação entre momento de força e força de pré-carga e, por conseguinte, entre momento de força e força de aperto.

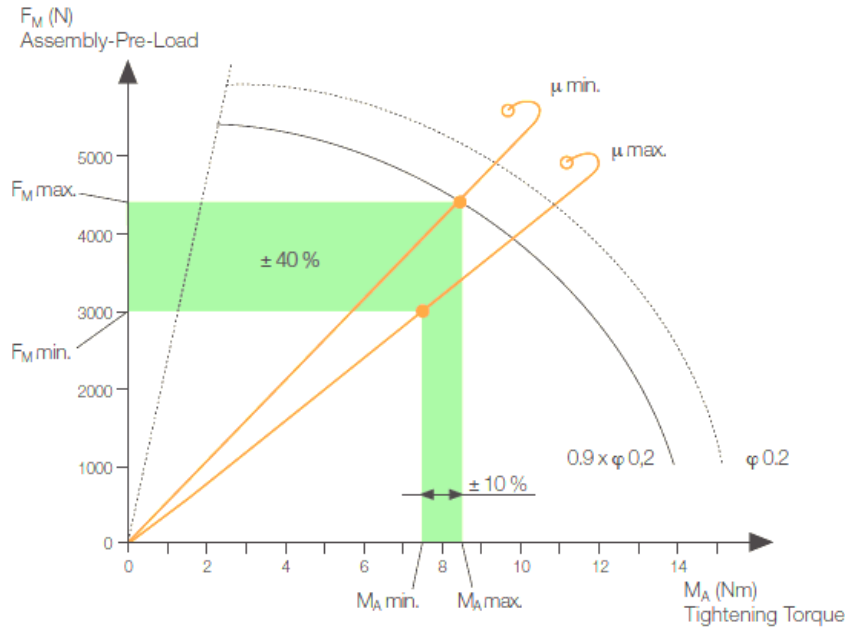
Caso se crie um momento de força insuficiente, isto pode resultar em desgaste desnecessário do parafuso, bem como, dos componentes que estes ligam, já que, se vão transmitir cargas desequilibradas durante o processo de montagem dos componentes levando a desgaste prematuro, defeitos de fadiga e consequente falha. No entanto, um momento de força em excesso também não é adequado pois pode criar pressões excessivas podendo ser atingindo o ponto de cedência parafuso [5].

Fica claro a necessidade de definir um valor exato para o momento de força a transmitir numa determinada ligação para, consequentemente, conseguir alcançar a força de pré-carga desejada que leva à força de aperto desejada na ligação. Esse valor pode ser retirado de catálogos fornecidos pelo fabricante ou fazendo testes de destruição, em ambos os casos o princípio físico mantem-se [1].

### **2.1.3 Variação de atrito**

Embora a definição de um valor de momento de força correto seja de grande importância e, normalmente, o fator limitante para a operação de aparafusamento, este não é simples de prever [5].

Devido à interação entre o parafuso e o componente a aparafusar, é preciso ter em conta que irá haver atrito não só na parte roscada, mas também entre a cabeça do parafuso e a peça. Deste modo, existe a necessidade de aplicar um valor de momento de força superior ao calculado para vencer o atrito, sendo o valor das variações imprevisível [1].



**Figura 2** - Gráfico momento de força de aperto - força pré-carga que ilustra o campo de diferentes valores devido à variação de fricção [1].

Como se pode verificar na figura 2, dependendo do valor do coeficiente de atrito –  $\mu$  – influenciado por vários fatores descritos mais adiante neste capítulo, existe um intervalo grande de momento de força de aperto (eixo das abcissas) que, conseqüentemente, leva a um intervalo no valor de força de pré-carga que pode ser atingido (eixo das ordenadas).

Então, a operação deve estar sobredimensionada para poder suportar valores de momento de força superiores ao teoricamente ideal sem causar danos, mas não o suficiente que permita casos em que se dá um aperto insuficiente.

O coeficiente de atrito é afetado por vários fatores como acabamento superficial, lubrificação, quantidade de apertos e desapertos que a ligação sofre, entre outros fatores. Concluindo, o fator de atrito pode ser considerado como pertencendo a um intervalo de valores, normalmente entre 0.08 e 0.39 [6].

A força de atrito que vai estar presente no sistema, afeta a relação entre momento de força e a força de pré-carga que se cria na ligação e, para melhorar a fiabilidade e poder prever melhor o comportamento dos componentes, existem estudos que tentam chegar a equações que permitam definir melhor os coeficientes de atrito que vão estar presentes durante o aparafusamento [7].

#### 2.1.4 Ângulo

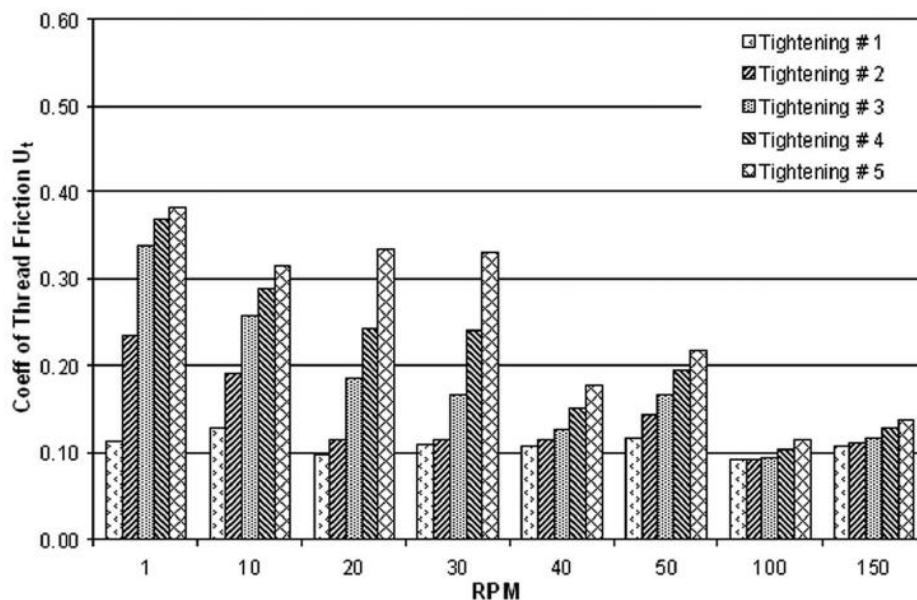
Quando o parafuso funciona à tração, os eixos do fuso fêmea e macho têm tendência a ficar desalinhados, isto é, ocorre o enviesamento [8]. Para que a montagem não tenha problemas, deve ser garantida a coaxialidade do eixo do parafuso com o eixo do furo. Caso esta condição não seja respeitada,

as peças e o parafuso podem ficar danificadas criando uma má ligação ou até tornando impossível a montagem dos componentes.

Isto não representa um problema quando a operação é feita manualmente pois, o operador consegue garantir que não ocorre o enviesamento, mas em operações automatizadas, é um fator a ter em conta que, caso não seja respeitado, pode criar ligações defeituosas e danificar os componentes.

### 2.1.5 Velocidade

A velocidade de aparafusamento vai influenciar a relação momento de força-tensão e a variação do coeficiente de atrito [9] observada durante a operação de ligação dos componentes. De um modo geral, aumentando a velocidade vai dar-se uma diminuição da força gerada pelo atrito, como se verifica na figura 3.



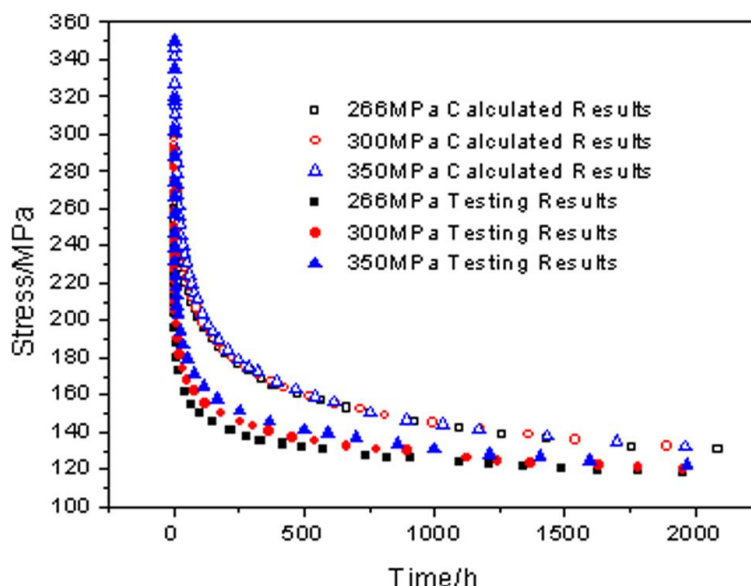
**Figura 3** - Variação do fator de atrito (K) com a velocidade (rpm) [9].

Os dados representados são para parafusos M12 x 1,75 com revestimento de zinco e classe 8,8 e, como se pode verificar, para velocidades baixas, em geral, com o aumento da velocidade a variação do coeficiente de atrito na parte roscada diminui consideravelmente dependendo das condições do ensaio (se tem lubrificante, revestimento entre outros fatores) sendo que, após os 50 rpm o aumento da velocidade já não tem um efeito tão acentuado.

Assim sendo, para obter um determinado momento de força de aperto deve-se ter em consideração qual o efeito da velocidade no valor do atrito, em especial para velocidades mais reduzidas [9] para, deste modo, garantir a estabilidade da operação e garantir um correto aperto dos componentes.

### 2.1.6 Relaxação

Após a realização do aperto do parafuso, quando o momento de força que está a ser aplicado cessa, existe uma relaxação da tensão existente no parafuso e, consequentemente, a força de pré-carga irá diminuir e, com esta, a força de aperto que junta os componentes da ligação. Esta relaxação é muito rápida inicialmente tendo tendência para estabilizar com o tempo como se verifica na figura 4.



**Figura 4** - Gráfico tensão/tempo representativo do efeito da relaxação em ligações aparafusadas com diferentes materiais [10].

Os fatores que contribuem para a relaxação da ligação são muitos e difíceis de prever, e a influência destes no fenómeno de relaxação são, normalmente, determinados experimentalmente. Alguns dos fatores a ter em conta são: o acabamento das peças, níveis de tensão na ligação, cumprimento do parafuso, vibrações, variações de temperatura entre outros [10].

É também importante referir que, caso se vá aparafusar um conjunto de parafusos, como é no caso em estudo nesta dissertação, a relaxação é menor caso se aparafusem todos os parafusos simultaneamente [11].

## 2.2 Controlo de processo

Como visto, existe uma grande quantidade de fatores que podem afetar a qualidade e fiabilidade de uma ligação aparafusada. Para um processo mais automatizado, é importante garantir que todos os parâmetros estipulados numa fase de projeto são respeitados, deste modo há garantia de cumprimento dos requisitos estipulados no projeto e, consequentemente, segurança das ligações.

Coloca-se a questão de como se pode fazer o controlo de cumprimento dos parâmetros.

### 2.2.1 Controlo do momento de força

Sendo o momento de força um dos parâmetros mais relevantes, é de grande interesse fazer o controlo do mesmo durante o processo sendo, inclusive, um dos métodos mais comuns para fazer o controlo, exceto para parafusos de diâmetro elevado[12].

Este tipo de controlo faz-se com recurso à relação física que existe entre momento de força e força de pré-carga que cria tensão no parafuso, isto é, recorre-se ao momento de força como meio de controlar a força de pré-carga que irá ocorrer na ligação aparafusada.

Ou seja, quando se atinge um determinado valor de momento de força, ao qual irá corresponder um valor de força de pré-carga, o aperto é concluído e a aparafusadora desliga. Existem várias equações que permitem relacionar os dois fatores, mas uma das mais comuns e simples é a seguinte:

$$T_{in} = F_p(KD_n) \quad (1)$$

Em que:

$T_{in}$  – Momento de força (N-mm)

$F_p$  – Força de pré-carga (N)

$K$  – *Nut factor* (sem dimensão)

$D_n$  – Diâmetro nominal (mm)

O *nut factor* é um fator determinado experimentalmente que quantifica tudo o que influencia a relação entre momento de força e força de pré-carga, que, pode ser: atrito, torsão, deformação plástica da rosca, entre outros fatores [11].

No entanto, como já foi visto, devido a um conjunto de fatores como variação de atrito, relaxação, precisão da ferramenta, entre outros, os valores de momento de força que devem ser fornecidos podem variar e, por consequência, a força de pré-carga é também alterada como visto anteriormente. Aliás, mesmo que seja fornecido o momento de força perfeito, este pode resultar numa variação da força de pré-carga de  $\pm 25\%$ -30% [11].

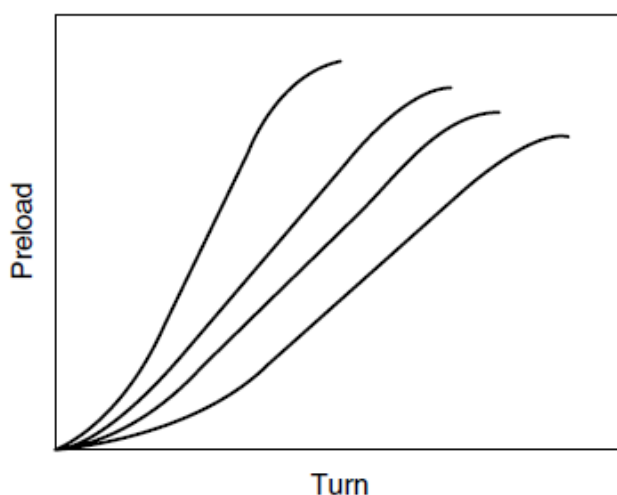
Então, para fazer o controlo de momento de força é necessário descobrir qual o *nut factor* referente ao caso de estudo, bem como, escolher um valor ótimo para a força de pré-carga, com estes valores, aplicando a equação vista anteriormente, obtemos o nosso momento de força ideal. Dependendo da importância da ligação, pode ser definido um intervalo maior ou menor de tolerância para valores de momento de força aceitáveis que garantem uma força de aperto adequada na ligação aparafusada [11].

Embora existam algumas dificuldades no uso deste tipo de controlo, é sem dúvida aquele que é mais usado pela sua simplicidade sendo o método mais prático e económico.

### 2.2.2 Controle do momento de força e ângulo

Como alternativa ao controle de momento de força, surge o controle de número de voltas que o parafuso irá dar, isto é, se rodar o parafuso  $360^\circ$ , vai haver um deslocamento correspondente ao passo do parafuso. Assim sendo, quando o parafuso dá um certo número de voltas, vai sofrer uma determinada deformação e, com essa informação será possível conhecer o valor de pré-carga aplicado.

Infelizmente, o comportamento da ligação não é linear dependendo também, da variação de atrito (ver figura 5) e, para conseguir aplicar este método, é necessário prever a rigidez dos componentes da ligação aparafusada, o que deve ser feito experimentalmente. Consequentemente, isto vai trazer alguma incerteza ao processo, o que significa que, usar apenas momento de força ou apenas o ângulo para controlar a força de pré-carga leva ao mesmo grau de incerteza.



**Figura 5** - Gráfico demonstrativo da influência da variação de atrito na força de pré-carga utilizando o ângulo como controle [11].

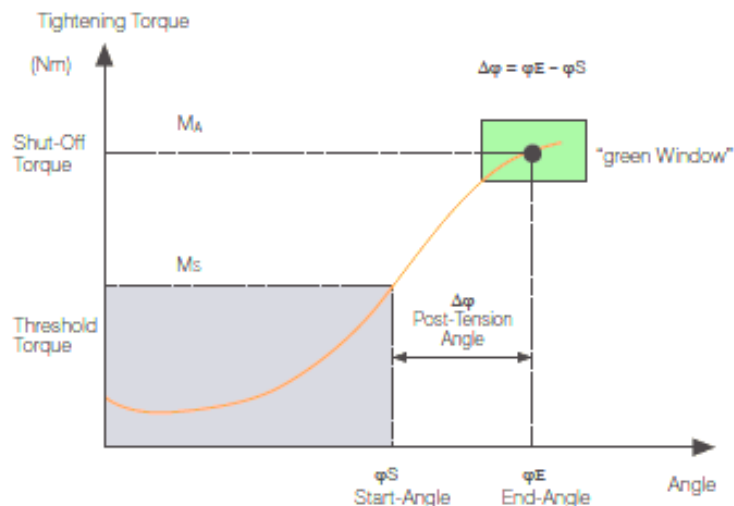
No entanto, se juntarmos os dois métodos, vai ser possível melhorar a precisão do controle conseguindo uma certeza maior quanto à força que será gerada na ligação.

Isto é conseguido começando por produzir um momento de força que permite um ajuste apertado na ligação e, de seguida controla-se o número de voltas que o parafuso deve rodar para que ultrapasse o ponto de cedência e se deforme plasticamente, independentemente do momento de força que seja necessário para alcançar esse estado. Assim, é possível diminuir a variação da força de pré-carga obtida visto que quando o parafuso se deforma plasticamente produz sempre tanta tensão quanto este consegue suportar [11].

No entanto, em linhas de produção, é necessário realizar o aparafusamento rapidamente e, por conseguinte, é necessário controlar as variáveis, para além disso, existem situações exteriores que podem influenciar a força de pré-carga como furos com diâmetros incorretos, sujidade nas roscas, mau

funcionamento das ferramentas, entre outros fatores. Por isso, deve ser definida uma tolerância, isto é, uma janela de valores de momento de força e ângulo que seja aceitável para a ligação a efetuar.

Assim sendo, o método usado é descrito como *torque-angle window*, em que o princípio físico se mantém, isto é, apertar com um certo momento de força até um determinado ponto e depois apertar mais um determinado número de voltas para que o parafuso passe o ponto de cedência e se deforme plasticamente. Como se vê na figura 6, quando se chegar ao *shut-off torque*, se o valor estiver dentro de uma janela (“*green window*”), então está O.K., caso contrário considera-se N.O.K. e rejeita-se a peça.



**Figura 6** - Gráfico momento de força-ângulo do funcionamento do método de controlo *torque-angle window* [1].

### 2.2.3 Outros métodos de controlo

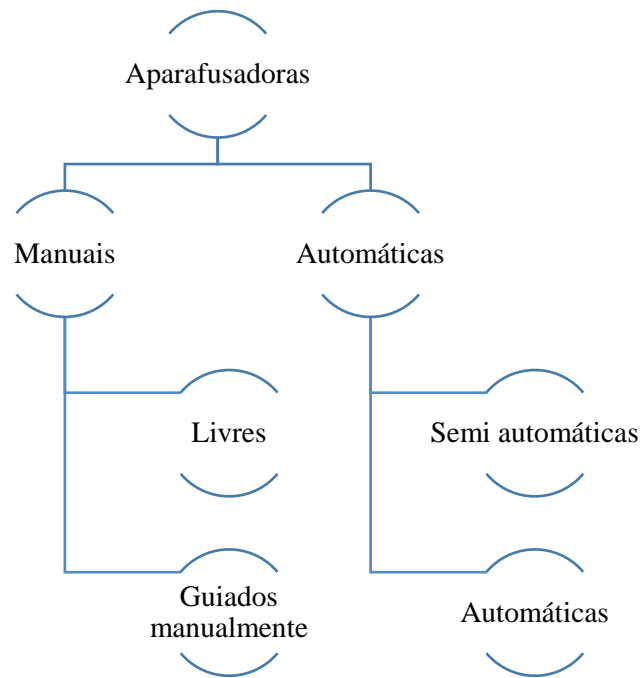
Existem, para além dos métodos já abordados, outros que também permitem controlar os parâmetros de aparafusamento, como a *torque-time window*, aperto por pulsos e, até o controlo de deformação do parafuso através de ultra-sons, embora sejam menos comuns apresentam-se como alternativas aqueles descritos acima.

## 2.3 Aparafusadoras

Sendo que as ligações aparafusadas são tão úteis e comuns nas mais diversas indústrias, o equipamento disponível para este método de ligação de componentes possui uma grande variedade. Esta variedade permite ultrapassar um leque grande de dificuldades seja de geometria, dimensões, acessibilidade, entre outros constrangimentos que possam estar inerentes a um projeto que implique a utilização de parafusos.

De uma maneira simples, existem dois grandes campos de aparafusadoras, as manuais e as automáticas, como se pode ver figura 7. Dentro destes, existem várias soluções associadas que diferem em geometria, tamanho ou até mesmo motor associado.





**Figura 7** - Diagrama dos tipos de aparafusadoras.

De seguida, faz-se uma breve análise de cada um dos tipos de equipamentos para poder perceber quais os pontos fortes e fracos de cada um deles.

### 2.3.1 Aparafusamento manual

#### Livres

Este tipo de equipamento, que se pode ver na figura 8, é o mais simples no mercado, é compacto e o facto de ser utilizado com recurso a um operador significa que é muito flexível, isto é, permite o aparafusamento em zonas de difícil acesso, além disso, permite acomodar a mudança de geometria nas peças podendo ser um sistema independente da peça que se vai trabalhar.



**Figura 8** - Exemplos de aparafusadoras manuais livres [13].

No entanto, estes equipamentos não são muito indicados para linhas de produção que impliquem a ligação de um número elevado de peças e, sendo de uso manual, estes estão limitados pela capacidade do operador, seja em relação à cadência de produção ou, em relação aos defeitos que podem surgir,

como seja aparafusamento insuficiente e outros danos nos parafusos que podem levar à rejeição de peças, a algum problema de montagem ou até a problemas de fiabilidade do produto.

### **Guiadas manualmente**

Em relação ao equipamento anterior apresenta uma flexibilidade mais limitada, conseguindo, no entanto, ser utilizado em peças cuja complexidade não permite sistemas completamente automáticos. Apesar disso, para uso em situações em que a posição das peças é fixa, como numa linha de montagem, este tipo de equipamentos, como o exemplo da figura 9, permite aumentar a rapidez e precisão do processo o que, leva inevitavelmente a uma maior fiabilidade em relação à ligação que se obtém.



**Figura 9** - Exemplo de aparafusadora guiada manualmente [12].

São equipamentos bastante compactos, ergonómicos e apresentam um funcionamento fácil para o operário permitindo eliminar, de certo modo, a fadiga associada às aparafusadoras livres, já que, neste caso, apenas é necessário guiar a aparafusadora até ao ponto certo e accionar.

Ao contrário das aparafusadoras livres, este tipo de equipamento permite o aparafusamento simultâneo de vários parafusos podendo a aparafusadora estar equipada com várias pontas que permitem, deste modo, aumentar a cadência de produção.

## **2.3.2 Aparafusamento automático**

### **Semi-automática**

Estes sistemas são muito semelhantes aos sistemas fixos em suportes manuais, no entanto, estes possuem um nível de automação bastante superior, observe-se o exemplo da figura 10. Neste caso, o sistema é accionado pelo operador, normalmente pressionando dois botões em simultâneo, todos os movimentos restantes são executados pelo sistema sem intervenção humana.



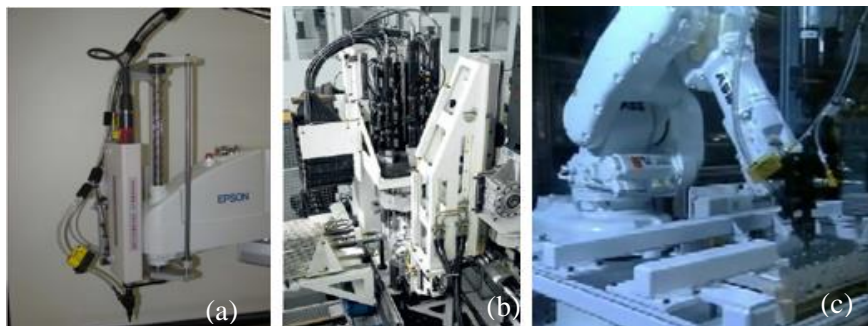
**Figura 10** - Exemplo de aparafusadora semiautomática [12].

No entanto, devido à maior complexidade e custo, são sistemas mais indicados para uso em linhas de montagem e devem ser capazes de fazer o aparafusamento simultâneo de vários parafusos para, deste modo, justificar o esforço inicial de programação assim como o investimento superior.

Sendo o aparafusamento controlado automaticamente ao invés de ser realizado por um operador, torna o controlo do processo mais eficaz e aumenta a precisão da operação consideravelmente.

### Automática

Estes são os sistemas com o maior nível de automação, e permitem realizar a operação de aparafusamento sem qualquer intervenção humana. Neste caso, como se pode ver na figura 11, as aparafusadoras são colocadas em robots que podem ser multi-eixos, *scara* ou cartesianos, e estes são equipados com sistemas de alimentação automática de parafusos.



**Figura 11** - Exemplo de aparafusadoras automáticas. (a) Scara, (b) Cartesiano e (c) Multi-eixos [12];[14].

São sistemas indicados para um grande volume de produção e para tornar a operação extremamente rápida, dito isto, apresentam-se como a solução mais dispendiosa, sendo também a mais complexa, logo, é necessário um esforço acrescido de programação e exige que haja operários mais especializados.

### 2.3.3 Tipos de motores

Em geral, existem dois tipos de motores associados a estes equipamentos, pneumático e elétrico. Cada um tem um campo de aplicabilidade diferente, tendo pontos fortes e fracos que vão pesar na decisão do projetista. Cada um desses constrangimentos é exposto na tabela 1, tornando mais claro quais as diferenças entre os dois tipos.

**Tabela 1** - Comparação entre tipos de aparafusadoras [15].

	<b>Pneumática</b>	<b>Elétrico</b>
<i>Precisão de momento de força</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>- As máquinas pneumáticas possuem embraiagens que são sensíveis a variação de pressão.</li><li>- Pequenas variações de pressão de ar influenciam a precisão de momento de força.</li><li>- Precisão de +/- 3 %.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- As máquinas elétricas possuem <i>software</i> de ajuste dos parâmetros e especificações.</li><li>- Permite controlo do processo de aperto guardando os dados de aperto.</li><li>- Precisão de +/- 1%.</li></ul>
<i>Flexibilidade</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Cada aparafusadora é ajustada apenas para um torque de aperto.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- O software permite ajuste dos parâmetros de maneira muito fácil.</li></ul>
<i>Set-up</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Aparafusadoras pneumáticas implicam necessidade da existência de compressores de ar e de equipamento específico.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Podem ser ligadas diretamente à corrente.</li></ul>
<i>Manutenção</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Manutenção mais simples podendo ser feita na fábrica.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Manutenção deve ser executada pelo fornecedor.</li></ul>
<i>Custo inicial</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Investimento relativamente baixo.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Custo superior quando comparado com as aparafusadoras pneumáticas.</li></ul>
<i>Custo de funcionamento</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Têm um custo superior às aparafusadoras elétricas.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Permitem um custo de funcionamento inferior que pode justificar o investimento inicial.</li></ul>
<i>Vida do equipamento</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Em geral tem um tempo de vida superior.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Tem tempo de vida menor que o equipamento pneumático.</li></ul>

### **2.3.4 Controladores**

Devido à necessidade de as empresas garantirem o máximo de qualidade dos seus produtos para se manterem competitivas, é absolutamente essencial fazer o controlo de processo. Para esse efeito, são introduzidos transdutores que monitorizam os parâmetros de aparafusamento, em especial, e como já foi abordado anteriormente, o momento de força, mas também o ângulo e a velocidade do aparafusamento.

A medição é feita continuamente durante o ciclo de aperto, o que permite reunir dados relativos ao desempenho da aparafusadora sem influência do relaxamento da ligação podendo medir inclusive o efeito de variações de atrito.

Os controladores têm funções diferentes caso se use uma aparafusadora pneumática ou elétrica.

#### **Aparafusadora pneumática**

No caso da aparafusadora pneumática, os controladores são mais simples e baseiam-se essencialmente em parâmetros temporais. Este interpreta erros tendo como base o controlo do tempo e na existência ou não de peça, através de sensores, no local apropriado para a realização de operação. A sua função principal é controlar a alimentação de parafusos automáticos com início de cada ciclo [15].

#### **Aparafusadora elétrica**

Estes possuem transdutores de momento de força havendo alguns que também possuem codificadores de ângulo de aperto. Os controladores elétricos convertem a energia mecânica do processo em sinais elétricos que podem depois ser lidos.

É possível fazer um controlo individual do momento de força, velocidade, ângulo e até direção de rotação permitindo um controlo mais exato dos parâmetros todos do processo sendo os dados posteriormente registados. Para facilitar a programação deste existem programas de aparafusamento padrão sendo também possível criar sequências de aperto através de um servidor *web* ou diretamente no teclado do controlador [15].

Estes equipamentos permitem ainda juntar módulos de software próprio para registo e análise das ligações aparafusadas, registo de dados e gráficos.

## **2.4 Alinhamento do teto panorâmico com a carroçaria do automóvel**

A outra parte onde o projeto atua, é a criação de uma solução mais cómoda e automatizada para o alinhamento das furações do teto panorâmico com as furações correspondentes na carroçaria.

Deste modo, fez-se uma análise a várias soluções para criar um sistema mais confortável para o operador. Entre as várias opções destaca-se, por exemplo, o uso de câmaras que permite, com recurso

de écrans, alinhar os furos sem que os operadores estejam em posições desconfortáveis. No entanto, a solução definida foi o processamento de imagem que permite realizar a operação sem intervenção do operador.

#### 2.4.1 Processamento de imagem

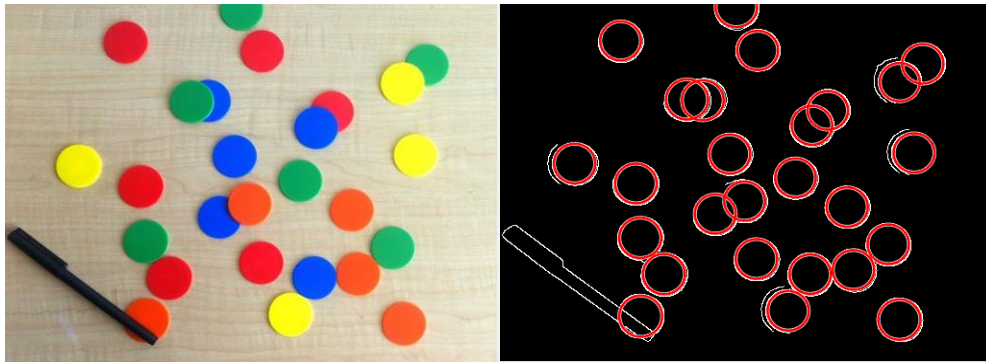
O processamento de imagem é feito, numa primeira fase, segmentando a imagem em regiões, de tal modo, que os pixéis que pertencem a uma determinada região possuem todos uma propriedade idêntica entre eles, normalmente, a propriedade é o nível de cinzento. Para conseguir isso, existem vários algoritmos que permitem identificar descontinuidades em escalas de cinzento e, desse modo, pode definir-se as fronteiras das imagens, isto é, as fronteiras das regiões anteriormente mencionadas, como sendo mudanças abruptas do nível de cinzento. [16]

Os algoritmos devem então identificar onde existe essa mudança de intensidade nos níveis de cinzento, bem como a direção em que esta ocorre, e isso é conseguido pelo gradiente da imagem. Os algoritmos funcionam todos de maneira semelhante sendo os mais relevantes referidos abaixo:

- Operador de *Robert*;
- Operador de *Sobel*;
- Operador de *Prewitt*;
- Operador de *Kirsh*;
- Detetor de *Canny*;
- Operadores integrados do *MATLAB* para deteção de circunferências.

Os algoritmos devem ser capazes de detetar todas as fronteiras da imagem, mas não podem detetar ruído, o que implica que se for definida uma sensibilidade muito grande, garante-se que as fronteiras vão ser bem definidas, mas o nível de ruído será grande, caso contrário, pode conseguir-se uma imagem sem ruído, mas pode falhar-se na identificação de algumas fronteiras. Então, é imperativo definir um valor limite para a variação do nível de cinzento e, caso a diferença na imagem seja maior que esse valor, pode considera-se que se está perante uma fronteira. [17]

Apresenta-se, de seguida, um exemplo de deteção de fronteiras onde se demonstra a capacidade que o processamento pode ter para detetar fronteiras. Neste exemplo, foi usado o código presente no Anexo A capaz de detetar as fronteiras na imagem, mesmo havendo sobreposições e diferenças no contraste e cor:



**Figura 12** - Processamento de imagem usando código em *MATLAB*.





## Enquadramento do projeto

Neste capítulo, disponibiliza-se informação do estado atual da estação de trabalho na linha de montagem para, deste modo, facilitar a compreensão das modificações que o projeto a desenvolver terá no posto de trabalho. Para este efeito, faz-se um estudo da sequência de operações relativas à estação de trabalho, bem como, analisa-se os componentes mais importantes da estação de trabalho.

Com isto, pretende-se que se torne possível fazer uma comparação entre a solução inicial na qual o projeto se irá basear e, o projeto final a ser desenvolvido ao longo desta dissertação, assim como, quais as restrições que vão estar presentes nas decisões que vão ser tomadas.

### 3.1 Sequência de operações atual

Neste subcapítulo, define-se a situação existente na linha de produção da empresa, destacando-se as operações que este projeto irá influenciar, seja de modo a eliminar operações ou a alterar as mesmas. Assim sendo, com a sequência abaixo, pretende-se fornecer uma melhor perspetiva da influência deste projeto na estação de trabalho:

#### 1 – Entrada de nova carroçaria

Um operador pressiona um botão que dá a ordem para que guias no chão de fábrica conduzam a carroçaria desde a estação de trabalho anterior até uma posição final.

#### 2 – Recolha de teto panorâmico

Um operador recolhe o teto panorâmico da prateleira. Esta operação é realizada com o auxílio de um guindaste de ventosas.

Os guindastes de ventosas, semelhante ao da figura 13, é um equipamento utilizado para a elevação e manipulação de variados tipos de produtos, desde tubagens até vidros. Estes equipamentos podem ter um número variável de ventosas e estas podem ter várias dimensões, conforme a geometria e carga que se pretende elevar.



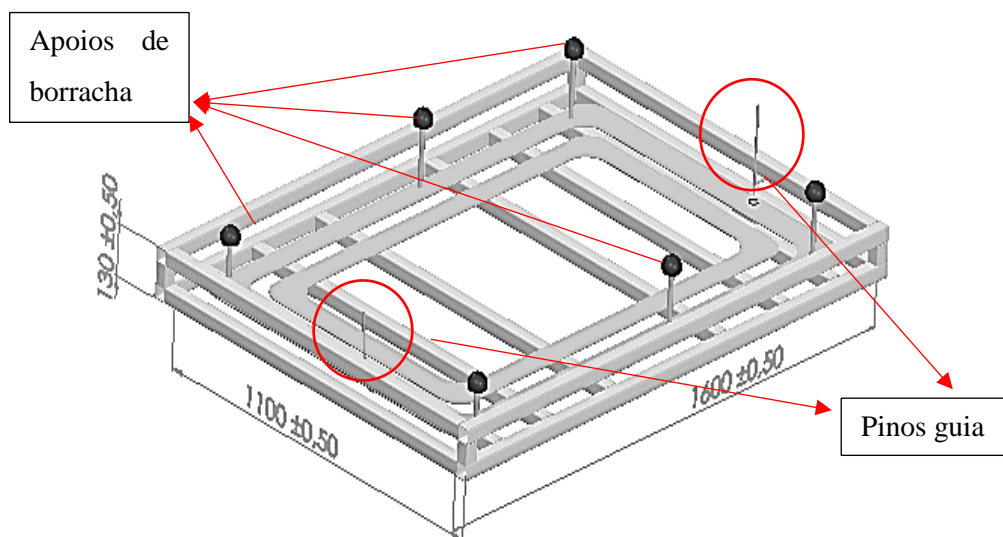
**Figura 13** - Guindaste de ventosas [18].

Este equipamento é útil neste projeto, para o transporte de um teto de vidro de uma posição inicial para uma posição final, apoiado na mesa de suporte e, por essa mesma razão, continuará a utilizar-se no posto de trabalho.

### **3 – Colocação do teto na mesa de suporte**

Os operadores orientam o guindaste de ventosas de modo a que furos presentes no teto sejam alinhados com pinos-guia presentes na mesa de suporte. Estes pinos são posteriormente orientados com as furações correspondentes na carroçaria.

A mesa de suporte é composta por perfis quadrados, soldados, e apoia o teto numa posição fixa quando este é colocado na posição em que os pinos (ver figura 14) estão a condicionar o movimento do mesmo. Garante-se então que, quando se alinhar estes pinos com os furos correspondentes presentes na carroçaria se alinham todos os furos.



**Figura 14** – Exemplo ilustrativo da mesa de suporte a utilizar.

Apoios de borracha mantêm o teto na posição correta até o processo de aparafusamento estar finalizado e o teto estar ligado à carroçaria.

#### **4 – Recolocação do guindaste de ventosas**

Um operador, após o posicionamento do teto na mesa de suporte, reposiciona o guindaste de ventosas na posição inicial perto da *rack* para recolher o próximo teto.

#### **5 – Colocação da mesa na posição para entrar na carroçaria**

O suporte que segura a mesa de suporte (ver figura 15), é colocado numa posição que permite a entrada de, tanto a mesa de suporte, como do teto pelo para-brisas da carroçaria.

#### **6 – Preparação o veículo para o aparafusamento**

Os operadores abrem todas as portas do veículo para acederem ao interior do veículo, para serem colocados forros no chão do veículo de proteção contra riscos e, são também colocadas, no interior do veículo, as aparafusadoras manuais e os parafusos para a operação de aparafusamento do teto panorâmico.

#### **7 – Condução a mesa até à posição final**

Um operador conduz a mesa até que os batentes do suporte da mesa encostem no para-brisas da carroçaria, ou seja, até à posição final.

#### **8 – Orientar o teto com a carroçaria**

Os operadores sobem a mesa, orientando os pinos-guia com os furos da carroçaria.

#### **9 – Colocação dos drenantes**

São montados os tubos drenantes e, quando este processo está finalizado, estes são assinalados com marcadores para ficar confirmado que estes foram verificados.

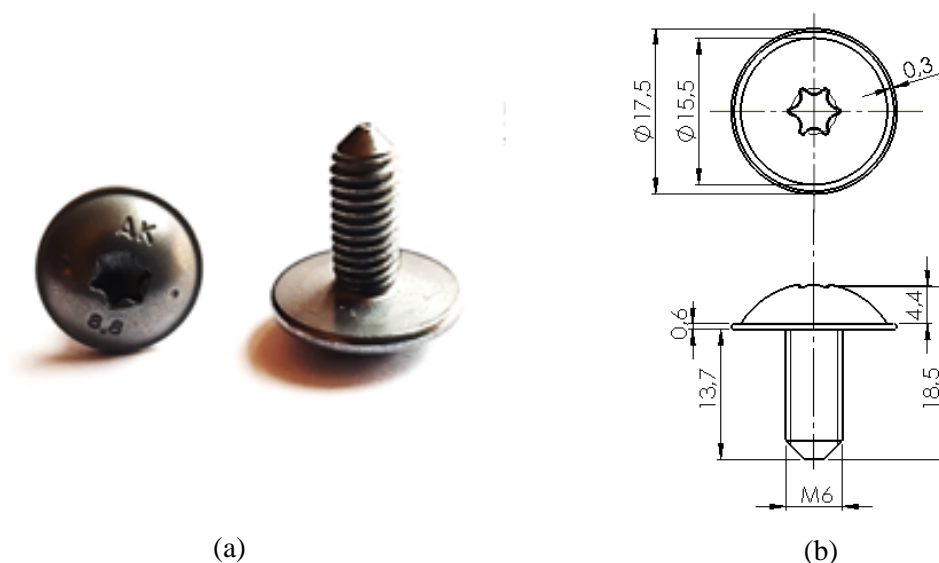
## 10 – Verificação do selante

Os operadores verificam, por observação, se o selante no topo da carroçaria está bem colocado.

## 11 – Aperto sequencial de alguns parafusos

Aperto sequencial de alguns parafusos com o momento de força de 8 Nm.

Os parafusos utilizados são conforme representado na figura 16. Estes possuem uma cabeça “round washer”, ou seja, uma cabeça de geometria circular tendo uma superfície de contacto maior para garantir melhor distribuição de carga.



**Figura 15** – (a) Parafuso de cabeça "round washer" a ser utilizado no projeto. (b) Dimensões do parafuso usado no projeto.

O parafuso possui uma abertura para chave do tipo *TORX*, neste caso é *TX-30*, que é caracterizada por uma cavidade hexalobular, normalizada pela *International Organization for Standardization* pela norma *ISO 10664*, e esta abertura tem uma geometria de uma chave de 6 pontas formando uma geometria semelhante a uma estrela [15].

Este tipo de chave minimiza o efeito de *cam out*, isto é, o efeito da chave sair da cabeça do parafuso quando o momento de força aplicado excede um determinado valor. Graças a este *design*, o parafuso e ferramentas sofrem menos desgaste, sendo também mais eficientes na transmissão do movimento e mais apropriadas para uso em processos automatizados [19].

As dimensões gerais do parafuso são apresentadas na figura 16, sendo também preciso referir que, visto o parafuso ter uma rosca M6, isto implica um passo de 1 milímetro e possui 12 espiras sendo de classe 8.8.

## 12 – Remoção da mesa de suporte

A mesa é retirada para a posição inicial quando os parafusos já apertados são suficientes para segurar o teto na sua posição.

### **13 – Aperto dos restantes parafusos**

Os restantes parafusos são apertados.

### **14 – Preparação do carro para a estação seguinte**

São removidos os forros anteriormente colocados, fechadas as portas e as aparafusadoras são levadas para a sua posição inicial.

### **15 – Encaminhamento do carro para a estação seguinte**

O operador carrega num botão que dá ordem para o carro ir para a estação seguinte.

## **3.2 Problemas com a sequência atual**

A montagem do teto panorâmico inclui tarefas que, com a implementação de algumas alterações, podem ser eliminadas poupando tempo na estação de trabalho com o consequente aumento da a cadência de operação. Entre as operações que podem ser suprimidas, considera-se a abertura das portas, a colocação dos forros, colocação das aparafusadoras no interior do veículo, entre outras.

Neste posto de trabalho evidencia-se também a falta de conforto a que os operários estão sujeitos. Estes têm de alinhar a mesa com a carroçaria debruçados no interior do veículo forçando a mesa até esta ficar na posição adequada e, após isto, é necessário aparafusar cada um dos parafusos manualmente, ainda numa posição desconfortável no interior da carroçaria. Assim sendo, com algumas alterações de projeto será possível garantir não só a diminuição do tempo de operação da estação como aumentar o conforto dos operadores.

Para além disso, com este projeto, ao aumentar o nível de automatização já não será necessário a presença de dois operadores podendo ser reduzido a apenas um, ou seja, a longo prazo haverá retorno financeiro.

## **3.3 Requisitos funcionais**

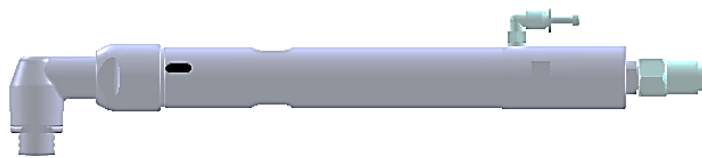
Pretende-se, aproveitando algum do equipamento em utilização na estação de montagem do teto panorâmico na fábrica criar um sistema que permita realizar a operação de aparafusamento do teto panorâmico de maneira mais rápida, eficaz e cómoda para o operador. Entre os equipamentos que se pretende manter na estação de trabalho considera-se, o guindaste de ventosas, o suporte da mesa e a própria mesa de suporte,

Com este objetivo, desenvolveu-se uma solução que minimiza o impacto da implementação do novo projeto na solução atualmente implementada para, deste modo, diminuir os custos associados ao projeto e, tornar o mesmo fácil de implementar sem haver a necessidade de grandes modificações no procedimento atual dos operadores e no equipamento atual da estação de trabalho.

### 3.3.1 Descrição da solução a desenvolver

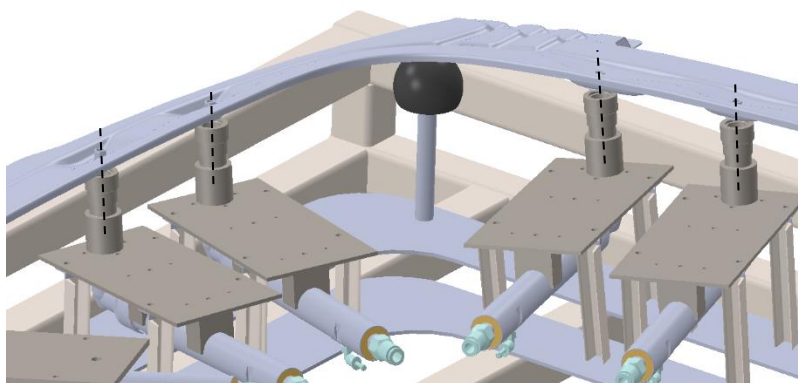
A solução proposta, acarreta o aumento da automatização utilizando um sistema de aparafusamento semiautomático, isto é, embora o aparafusamento seja um processo automático, o processo só é iniciado com a ordem do operador. A razão para não ser criada uma solução completamente automática foi, o facto de os responsáveis pelo projeto desejarem a presença de um operador na estação, assim sendo, uma solução completamente automática seria pouco adequada já que, um operador permite controlar melhor imprevistos que possam acontecer durante a operação, garante uma melhor vigilância da estação e facilita o processo de colocação dos parafusos no mecanismo projetado.

Já que, o teto panorâmico, bem como a mesa de suporte, tal como na sequência de tarefas atual, entra pelo espaço do para-brisas do veículo para o seu interior, existe um constrangimento relativo à altura para garantir que este conjunto pode atingir a posição final. Assim sendo, para a implementação do sistema semiautomático escolheram-se aparafusadoras do tipo *angle head* (ver figura 16) que serão montadas na mesa de suporte que serve de apoio ao teto panorâmico e, assim, garante-se que o conjunto pode ser guiado do mesmo modo, sendo que, estas podem ser montadas horizontalmente.



**Figura 16** - Exemplo de aparafusadora *angle head*.

Outro pormenor importante, é a utilização da mesa que apoia o teto panorâmico, também com o objetivo de suportar as aparafusadoras, isto porque, sendo que, o teto panorâmico ficará sempre alinhado na mesma posição, graças aos apoios existentes na mesa, também as furações do mesmo ficam sempre na mesma posição, assim sendo, resta apenas garantir que as aparafusadoras ficam orientadas com essas furações, para que, fiquem sempre alinhadas corretamente. Os parafusos, quando colocados no mecanismo, devem ficar corretamente alinhados com os restantes componentes, sendo que, isso é garantido pelo apoio do parafuso do mecanismo.



**Figura 17** - Aparafusadoras montadas na mesa de suporte com a orientação das furações do teto panorâmico.

Logo, como se pode ver na figura 17, colocando as aparafusadoras na mesa de suporte, é possível colocá-las em posições fixas que garantem que estas ficam alinhadas com os furos do teto.

Para orientar axialmente os furos do teto panorâmico, com os furos correspondentes na carroçaria recorre-se ao processamento de imagem. Para isso, utilizam-se, os pontos de referência presentes na mesa de suporte, isto é, os pinos guia que devem ser orientados com os furos na carroçaria, obtendo uma imagem através de uma câmara de pequenas dimensões que, posteriormente é tratada com um código de *Matlab* que permite definir qual o movimento que a mesa deve ter para ficar na posição correta.

Por último, para evitar que as aparafusadoras tenham de ter movimento para levar o parafuso aos furos, foi criada uma solução com características telescópicas, esta permite que o *bit* que transmite a rotação imposta pela aparafusadora acompanhe o parafuso à medida que este vai sendo roscado e, por conseguinte, se vá deslocando para a posição final sem haver movimento da aparafusadora.

Concluindo, com este projeto pretende-se eliminar a necessidade de preparar o veículo e, consequentemente, a atividade que prepara o carro para a estação de seguinte, bem como, de guiar manualmente a mesa e orientar a mesma e, por último, o aparafusamento dos parafusos faz-se automaticamente e a mesa regressa à posição inicial de modo automático.

No entanto, o projeto não implica apenas a eliminação de atividades sendo necessário realizar operações que não faziam parte do processo anterior. Estas atividades, bem como, todas as restantes que se mantêm da solução anterior, encontram-se na tabela 2.

**Tabela 2** - Sequência de operações proposta pelo projeto.

<b>Operação</b>	<b>Descrição</b>
<b>1 - Entrada de nova carroçaria</b>	Guias no chão de fábrica conduzem a carroçaria desde a estação de trabalho anterior.
<b>2 – Colocação dos parafusos no mecanismo</b>	O operador coloca manualmente os parafusos no mecanismo de aparafusamento semiautomático
<b>3 - Recolha de teto panorâmico</b>	É executado com recurso a um guindaste de ventosas.
<b>4 - Colocação o teto na mesa de suporte</b>	Orientação do teto com o auxílio de pinos guia existentes na mesa e furos no teto.
<b>5 – Recolocar o guindaste de ventosas</b>	Um operador recoloca o guindaste de novo na posição inicial para recolha do próximo teto.
<b>6 – Guiar a mesa até à posição final</b>	O operador dá início à rotina pré-programada que vai levar a mesa para o interior da carroçaria e alinhar os pinos guia com os furos na carroçaria.
<b>7 – Colocar drenantes e marcar e verificar do selante</b>	Prendem os tubos drenantes e fazem marca com o marcador. Os operadores verificam se o selante ficou bem colocado (manualmente).
<b>8 – Aperto sequencial dos parafusos</b>	Dar iniciação da rotina de aparafusamento que termina levando a mesa de suporte para a posição inicial.
<b>9 – Encaminhamento o carro para a estação seguinte</b>	Pressionar um botão para a carroçaria seguir para a próxima estação

Para dar uma ideia das operações eliminadas ou alteradas, apresenta-se a tabela 3. Nesta tabela percebe-se que são eliminadas ou automatizadas bastantes operações o que, tem como consequência, uma diminuição do tempo de operação da estação, uma simplificação do trabalho do operador garantindo que se completa o mesmo trabalho eliminando os problemas da estação do trabalho.



Tabela 3 - Operações eliminadas ou alteradas pela implementação do projeto.

<b>Operação</b>	<b>Descrição</b>
<b>Colocação da mesa de suporte em posição.</b>	Os operadores colocam a mesa numa posição para que esta esteja na altura correta para entrar na carroçaria. Esta operação será realizada manualmente.
<b>Preparar o veículo para o aparafusamento.</b>	O operador coloca forros, parafusos e aparafusadoras no interior da carroçaria. Esta operação é eliminada completamente.
<b>Guiar a mesa até à posição final.</b>	A mesa é empurrada até à posição final no interior da carroçaria. Esta operação será automatizada.
<b>Orientar o teto com a carroçaria manualmente.</b>	Orientação do teto com o auxílio de pinos guia existentes na mesa e furos no teto. Esta operação será automatizada.
<b>Aperto sequencial manual.</b>	Os operadores realizam o aperto sequencial de todos os parafusos. Esta operação será automatizada, sendo que, o operador apenas tem de dar a ordem para que o processo se inicie.
<b>Retirar a mesa manualmente.</b>	Quando concluídos cerca de metade dos apertos a mesa é retirada do interior do veículo. Isto torna-se desnecessário já que os apertos são realizados automaticamente.
<b>Preparar o carro para a estação seguinte.</b>	Os operadores retiram os forros e as aparafusadoras do interior da carroçaria. Esta operação é eliminada completamente.

# 4

## Desenvolvimento da nova solução

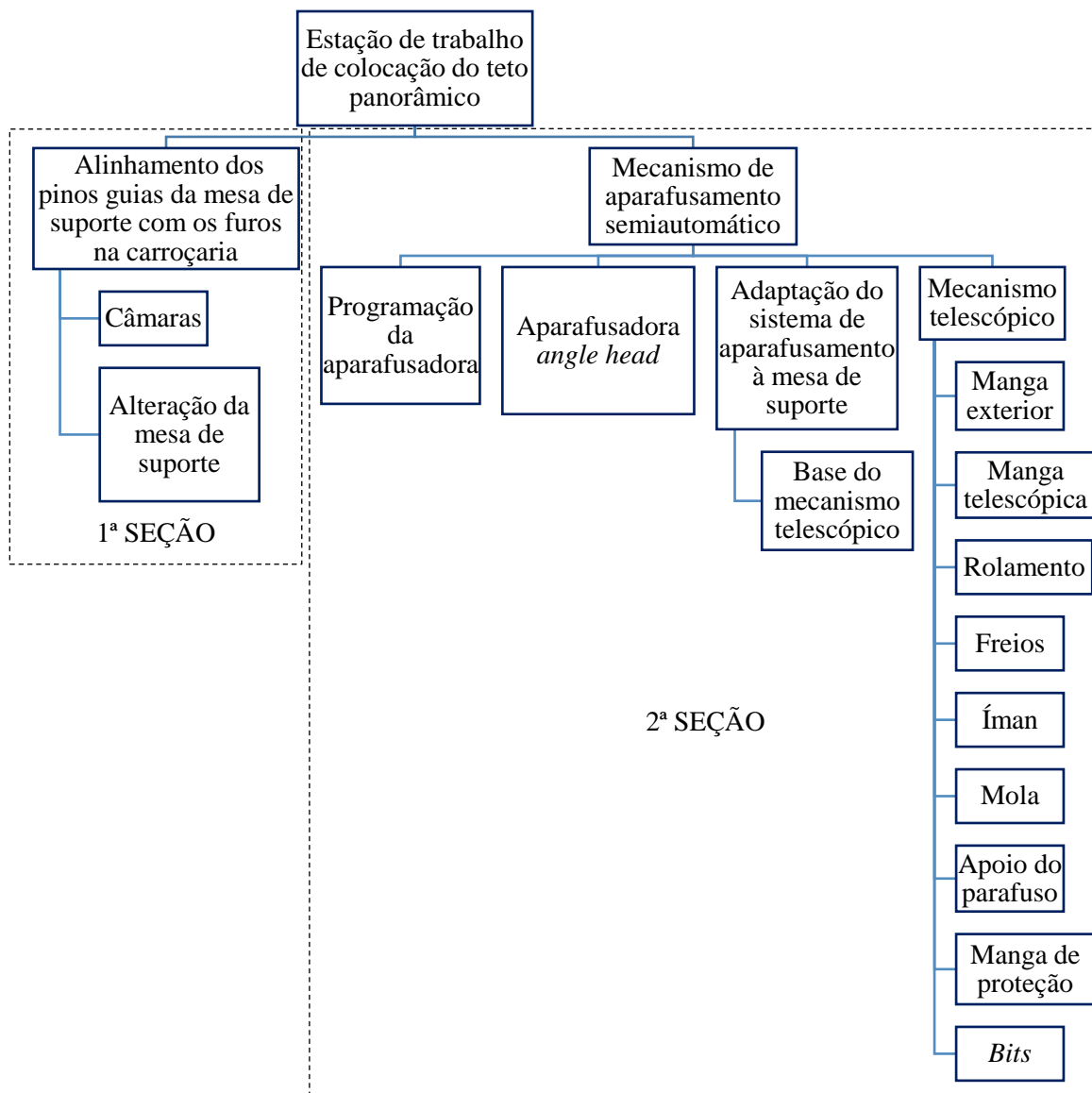
Neste capítulo, irá definir-se em pormenor a solução proposta e apresentada no capítulo anterior. Para isso, é feita uma análise aprofundada da solução para realizar o alinhamento dos furos, bem como, do mecanismo de aparafusamento semiautomático, incluindo o funcionamento do mecanismo telescópico pensado para o projeto, bem como, quaisquer alterações que tenham de ser feitas aos equipamentos já montados na estação de trabalho.

Neste capítulo faz-se também o dimensionamento dos componentes mais relevantes para a implementação da nova solução, fazem-se cálculos relativos a alguns componentes que são essenciais para garantir que o mecanismo cumpre com os requisitos que foram estabelecidos no capítulo anterior.

### 4.1 Composição modular do projeto

A solução de projeto desenvolvida divide-se em duas secções principais, uma referente ao problema de alinhamento dos pinos guia da mesa de suporte com as furações da carroçaria, outra referente ao equipamento para realizar o aperto dos parafusos.

Para cada uma das vertentes do projeto, será necessário criar uma solução que permita o cumprimento dos objetivos estabelecidos, isto será feito ao longo do capítulo seguinte, e no digrama da figura 18 pode-se ficar com uma noção geral daquilo que será abordado e dos componentes principais de cada secção do projeto.



**Figura 18** - Esquema da composição modular do projeto.

## 4.2 Sistema de aparafusamento

Devido ao facto de o teto panorâmico entrar, apoiado na mesa de suporte, pelo para-brisas, existe, neste projeto, uma restrição de espaço vertical, nestas condições, a escolha de aparafusadora fica dependente deste constrangimento.

A solução existente no mercado é conhecida como aparafusadora *angle head*, esta permite garantir o aparafusamento em situações onde o espaço na direção do eixo do parafuso é reduzido.

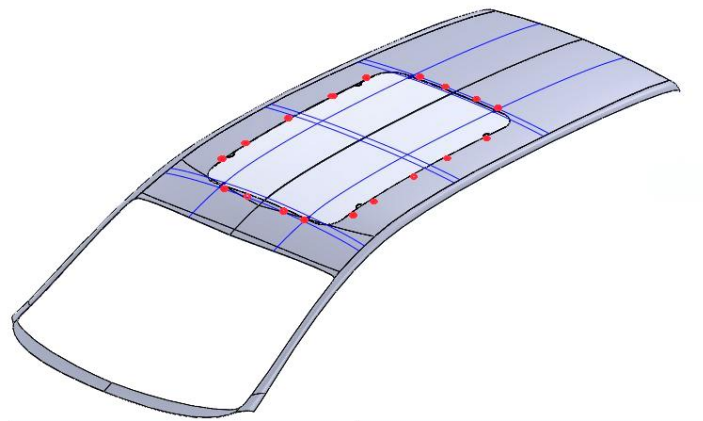
Identificam-se no mercado aparafusadoras elétricas e aparafusadoras pneumáticas. Na tabela 1 apresenta-se uma comparação destes dois tipos de aparafusadoras.

Os controladores das aparafusadoras elétricas são mais versáteis e possuem capacidades que os controladores de opções pneumáticas não possuem, já que, os controladores elétricos permitem fazer

um controle de vários parâmetros como momento de força, ângulo, velocidade e até variação de atrito em simultâneo, guardando os dados de cada processo de aparafusamento e, para além disso, permitem a rotação da aparafusadora em direções diferentes e permitem a programação.

Considerando a importância do controle do aparafusamento, opta-se neste projeto por utilizar o equipamento referente às aparafusadoras elétricas.

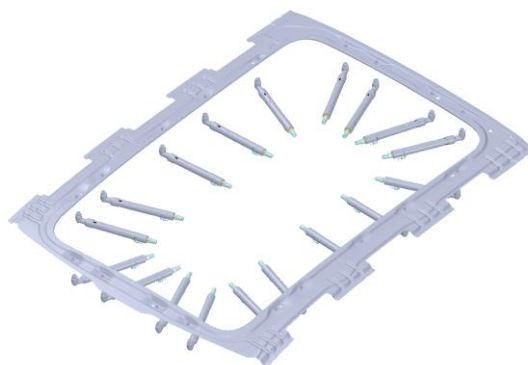
Com o desenho da parte superior da carroçaria (ver figura 19), identifica-se a localização dos furos relacionados com a operação de aparafusamento e, deste modo, é possível definir uma disposição para as aparafusadoras.



**Figura 19** - Modelo em perspectiva da parte superior da carroçaria e localização das furações.

Como definido acima, as aparafusadoras a serem utilizadas são do tipo *angle head*, isto significa que, embora este tipo de aparafusadora ocupe pouco espaço na direção do eixo do parafuso, por outro lado, o corpo da mesma desenvolve-se perpendicularmente a essa mesma direção.

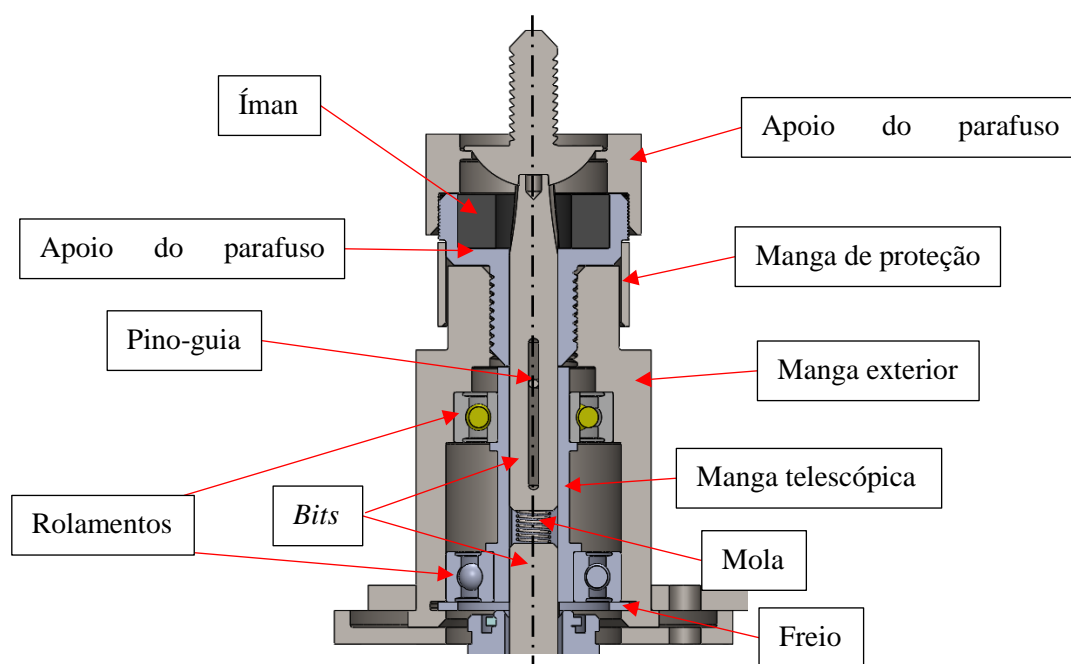
Assim, as aparafusadoras devem estar orientadas para o centro do carro. A solução adotada apresenta-se na figura 20.



**Figura 20** - Orientação das aparafusadoras relativamente ao teto.

### 4.3 Mecanismo telescópico

Em traços gerais, o objetivo do mecanismo é apoiar o parafuso numa posição fixa sendo, para isso, usado o íman e o apoio do parafuso. De seguida, este mecanismo leva o parafuso até que este entre nas furações presentes no teto sendo que, se aproveita o movimento proveniente do *bit* da aparafusadora para rodar a manga telescópica e, conseqüentemente, o *bit* na parte superior que irá obrigar o apoio do parafuso a subir à medida que vai sendo roscado no fuso da manga exterior. O *bit* mantém-se em contato com o parafuso, para transmitir o movimento rotacional ao mesmo, graças à mola que empurra este componente até estar concluído o aparafusamento.



**Figura 21** - Componentes que constituem o mecanismo telescópico.

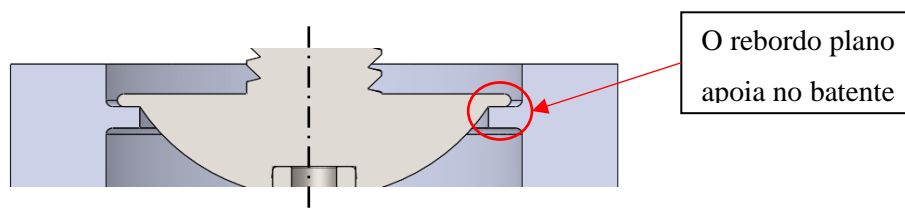
De seguida, escrutina-se cada pormenor de cada componente do mecanismo telescópico desenvolvido neste projeto representado na figura 21.

#### 4.3.1 Apoio de parafuso

O apoio do parafuso é dividido em duas partes que montam roscando uma na outra, para que, seja possível a colocação do íman numa posição abaixo do batente do apoio (ver figura 21). O objetivo deste elemento, é o de fornecer um local fácil para o operador colocar o parafuso, garantindo que fica sempre na mesma posição e pronto a aparafusar. Para tal, o apoio possui um batente onde, aproveitando a geometria *round washer* do parafuso, que implica que este possui um pequeno rebordo com superfície plana perpendicular ao eixo do parafuso, é possível assentar o parafuso para que fique no lugar certo.

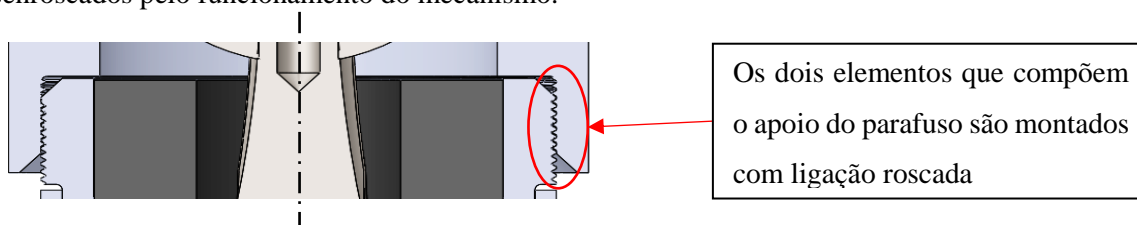
Este batente encontra-se a alguns milímetros do topo do apoio para, deste modo, assegurar que o parafuso fica mais resguardado e não existe a possibilidade de este sair do sítio (ver figura 22). Quando

a aparafusadora é acionada, este deve ser elevado até encostar no teto e o parafuso entrar nos furos do teto e da carroçaria.



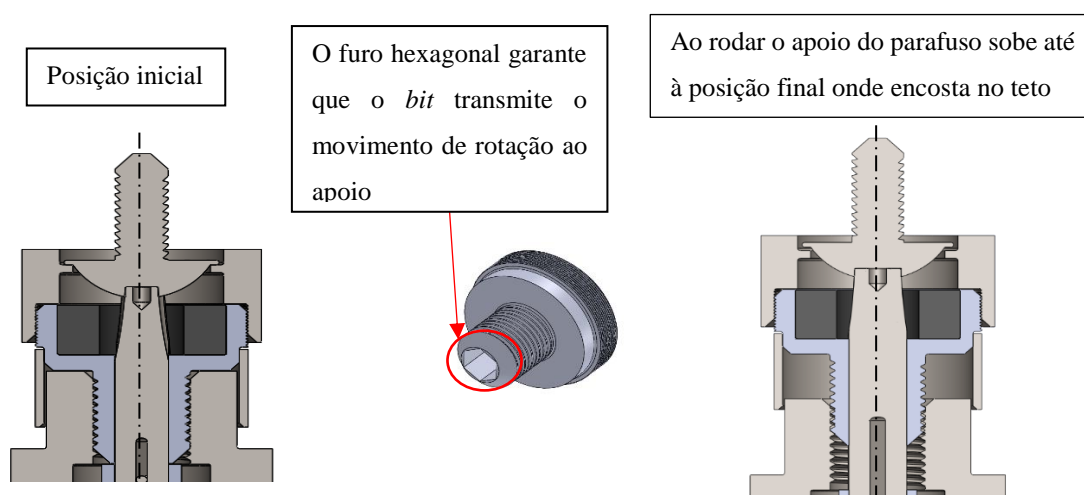
**Figura 22** - Pormenor do batente do parafuso representado em corte.

Como já referido, a rosca que liga os dois componentes do apoio ao parafuso existe para garantir a montagem do mecanismo, colocando o íman na sua posição e, de seguida, a outra metade do apoio é roscada garantindo a fácil montagem e desmontagem do equipamento como se ilustra na figura 23. A rosca utilizada é de passo inferior ao do parafuso que assenta no apoio e é apertada com um momento muito superior ao momento fornecido pela aparafusadora para que estes componentes não sejam desenroscados pelo funcionamento do mecanismo.



**Figura 23** - Pormenor da rosca entre os dois componentes do apoio do parafuso representado em corte.

Por último, existe uma parte roscada na parte inferior do apoio que liga à manga exterior que também deve ter um passo inferior ao do parafuso, para que, o apoio não faça pressão no teto do veículo antes do parafuso ficar completamente roscado. Quando o *bit* começa o seu movimento rotacional, vai transmitir esse movimento ao apoio, devido à geometria hexagonal do furo do apoio, que é elevado pela ação da rosca até à posição final (ver figura 24).



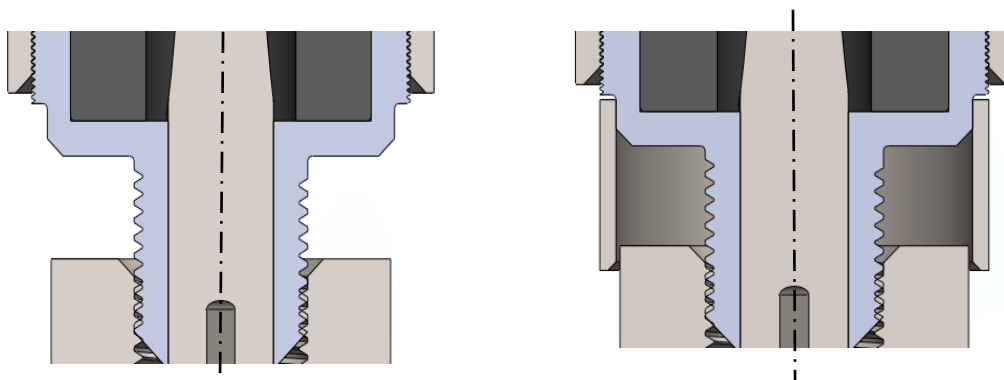
**Figura 24** - Ligação roscada entre a manga exterior e o apoio do parafuso que eleva o parafuso até posição final.

Embora o furo onde irá passar o *bit* tenha, imperativamente de transmitir o movimento proveniente do *bit*, não é necessário que estes componentes tenham tolerâncias apertadas, podendo, inclusive, entrar com uma certa folga, sendo, por isso, utilizado um ajustamento rotativo H8 – f8, já que, a geometria do furo garante que ambos os componentes irão rodar conjuntamente.

#### 4.3.2 Manga de proteção

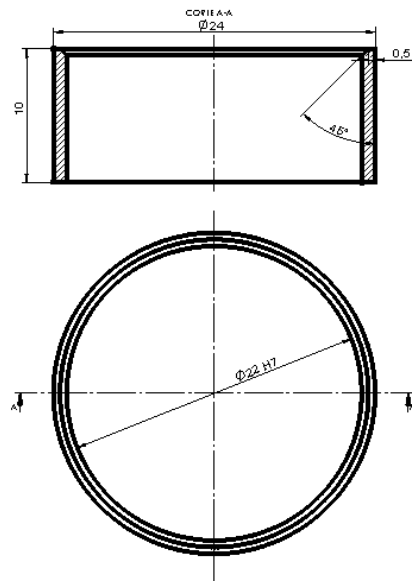
Para garantir o bom funcionamento do mecanismo, é essencial ter em conta que, fatores externos podem influenciar a vida útil do equipamento. A maioria do mecanismo está protegido no interior da manga exterior, no entanto, na zona onde a manga exterior liga com o apoio do parafuso existe a possibilidade de pó ou outros detritos poderem entrar na zona roscada o que irá influenciar o comportamento da mesma (cenário ilustrado à esquerda na figura 25).

A solução definida foi a inclusão de uma manga de proteção, que protege o interior do mecanismo dos fatores externos e, assim, assegura-se que a vida útil do equipamento não é diminuída e que detritos na rosca não vão aumentar o momento de força necessário para realizar o aperto do parafuso.



**Figura 25** - À esquerda mecanismo exposto a fatores externos. À direita a manga de proteção resguarda o mecanismo. Representado em corte.

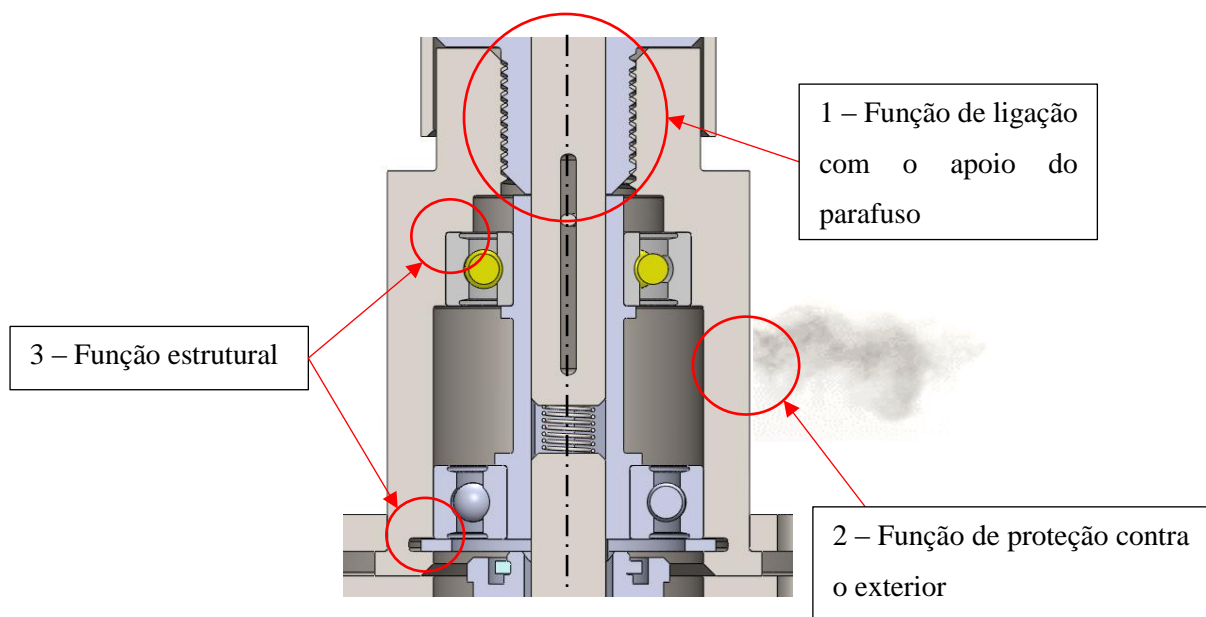
Esta manga é colocada com aperto na parte inferior do apoio do parafuso, sendo o ajustamento definido um ajustamento bloqueado H7 – m6, para que se mantenha na posição correta, no entanto, deve entrar com folga na manga exterior para facilitar a montagem.



**Figura 26** - Dimensões da manga exterior.

### 4.3.3 Manga exterior

A manga exterior possui três funções importantes para o mecanismo ilustradas na figura 27:



**Figura 27** - Funções da manga exterior representado em corte.

1. É na manga exterior que vai enroscar o apoio do parafuso que vai permitir que o apoio se movimente até à posição final, isto é, quando o apoio encosta no teto, e se inicia o aparafusamento;
2. A manga exterior tem uma função de proteger os componentes no seu interior, nomeadamente, o mecanismo telescópico e os rolamentos, de fatores externos que possam afetar a vida do equipamento em questão, garantindo que a vida útil e qualidade dos componentes não diminui;



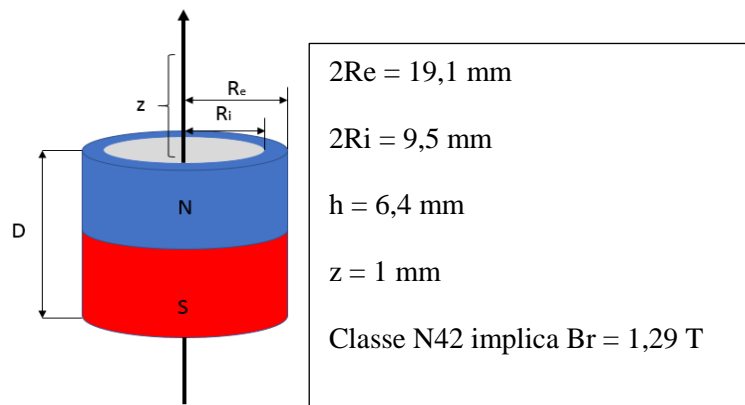
3. Por último, este componente tem uma função estrutural servindo de encosto para os rolamentos e, no caso do rolamento inferior, é nesta manga exterior que é aberta a caixa, com as dimensões definidas pelo fornecedor dos freios, para que se possa restringir o rolamento na posição correta. As superfícies interiores da manga devem ser retificadas para permitir a colocação dos rolamentos.

#### 4.3.4 Escolha íman

Sendo que, vai ser usado um mecanismo telescópico, a mola irá tender a empurrar o *bit* e, embora esse seja o objetivo do mecanismo telescópico, isso só deve acontecer quando começar o aperto do parafuso.

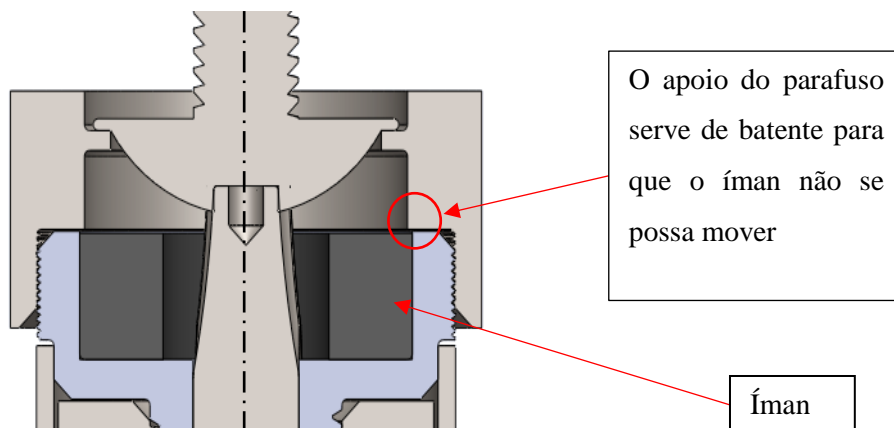
A solução passou pela introdução de um íman no interior do mecanismo e, deste modo, a força que este elemento magnético exercerá no parafuso de material ferromagnético, garante que este ficará bem posicionado até que seja possível começar o aparafusamento. No entanto, como é necessário que o *bit* esteja diretamente em contato com o parafuso para poder transmitir o movimento da aparafusadora, a geometria deve ser anelar.

Para além da geometria, é necessário que o anel tenha as dimensões adequadas para ser possível a montagem no mecanismo que é bastante compacto. Assim sendo, do fornecedor *KJ Magnetics* escolhe-se um íman de liga magnética de neodímio ferro boro (NdFeB) com revestimento de níquel apresentado na figura 28.



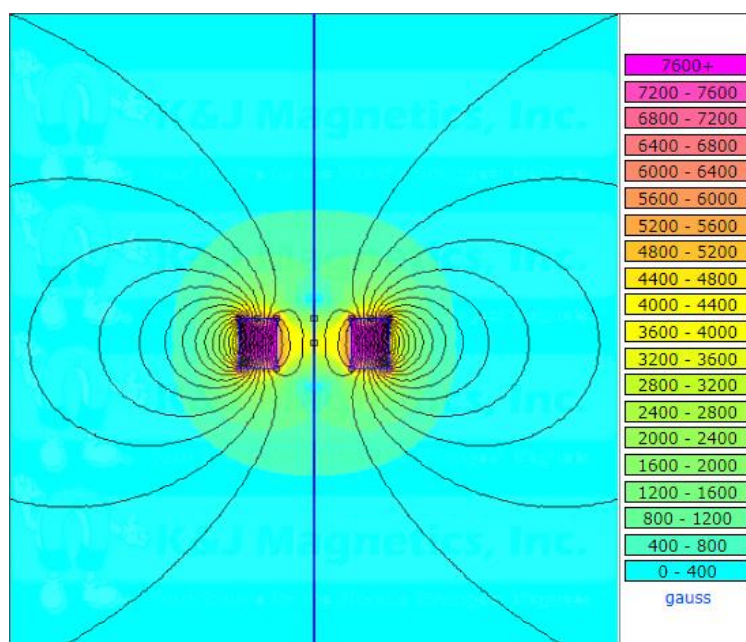
**Figura 28** - Dimensões do íman escolhido do catálogo da *KJ Magnetics*.

Este íman será colocado na base do apoio do parafuso com um ajustamento ligeiramente preso H7-j6 e a posição deste elemento é garantida através de um batente, como se pode observar na figura 29.



**Figura 29** - Montagem do íman no apoio do parafuso representada em corte.

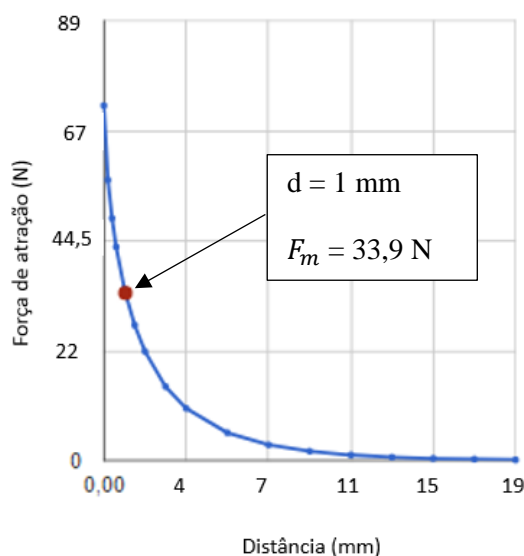
O íman irá realizar a força de atração no sentido axial do disco e esta é de, segundo a informação técnica disponibilizada pelo fornecedor, *75,5 Newtons*. No entanto, este valor de força não se aplica neste caso, isto porque, a força que o íman exerce, reduz com a distância. Este facto pode ser observado na figura 30, na qual se percebe que a densidade do fluxo magnético (dada em *Gauss*) reduz à medida que se afasta do íman:



**Figura 30** – Efeito da distância na densidade de fluxo magnético do íman escolhido [20].

Assim sendo, e como se pode ver na figura 30, como o íman vai estar distanciado do parafuso, deste modo, a força que este irá exercer no parafuso será menor que aquela que está tabelada pelo fornecedor. Para determinar a força que o elemento magnético exerce no parafuso, foi utilizada uma calculadora disponibilizada pelo fornecedor, e esta garante que o íman possui o comportamento definido pelo

gráfico da figura 31, para o caso geral de proximidade com uma placa de aço. Para a distância de 1 milímetro o íman exerce, então, aproximadamente 34 N na cabeça do parafuso.



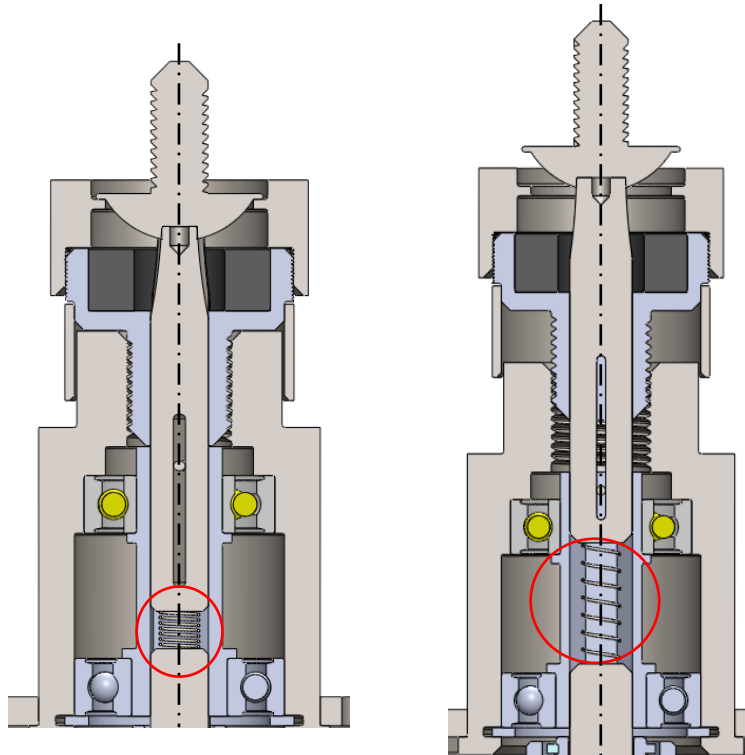
**Figura 31** - Gráfico força de atração em função da distância [20].

Assim, a força exercida no parafuso e aquela que deve ser considerada, é bastante inferior que aquela que está tabelada e, para além disso, à medida que o parafuso for enroscado, maior será a distância ao íman diminuindo também a força de atração que este exerce. Assim fica garantido que a mola vai ser capaz de empurrar o *bit* para que se mantenha contacto com a cabeça do parafuso e, por outro lado, quando for recolocado o parafuso no apoio este irá obrigar a mola a regressar ao seu estado de compressão inicial.

#### 4.3.5 Escolha das molas

Para assegurar o efeito telescópico do *bit*, isto é, para ter a certeza que o mesmo se mantém na posição correta na cabeça do parafuso para que, o movimento proveniente da aparafusadora seja corretamente transmitido até ao parafuso cumprindo, deste modo, os requisitos previamente definidos que garantem o exato aparafusamento de todos os parafusos, é essencial garantir o movimento do *bit* à medida que o parafuso vai sendo roscado.

Para este efeito, é necessária a colocação de uma mola que garanta que, na posição inicial, ou seja, com o parafuso apoiado no mecanismo, esta esteja comprimida e, quando o peso do parafuso for retirado à medida que o parafuso é roscado e, a influência do íman no mesmo for diminuindo com o aumento da distância relativa entre ambos, a mola descomprime e vai empurrar o *bit* mantendo a ponta do mesmo na chave da cabeça do parafuso.



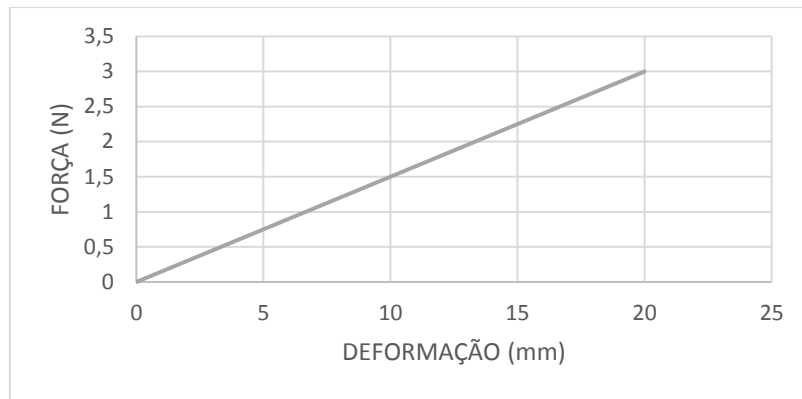
**Figura 32** - Imagem do funcionamento da mola no sistema telescópico representado em corte.

Os pesos e forças envolvidas são extremamente reduzidas, logo, a mola deve ser bastante fraca para que se comprima com o peso dos componentes e com a força magnética exercida pela mola, para além disso, deve ter um diâmetro reduzido o suficiente para ser possível colocar a mola na manga telescópica.

Assim sendo, é preciso o cumprimento de algumas restrições:

- Como a mola vai ser colocada dentro da manga telescópica, o diâmetro deve ser inferior ao da manga, ou seja,  $D_e < 6mm$ ;
- Como a mola serve para garantir que o *bit* acompanha o parafuso à medida que este vai sendo apertado, isto implica que a deformação da mola deve ser maior que o percurso do parafuso, ou seja,  $\delta > 13 mm$ ;
- A mola tem de ter força suficiente para poder empurrar o *bit* para que este acompanhe o parafuso, assim sendo, foi definido que se iria considerar que a força da mola seria de um décimo daquela que é feita pelo íman e, deste modo garante-se que, no início, a força do íman é suficiente para manter o parafuso no sítio e manter a mola comprimida garantindo que o *bit* não é empurrado para fora do mecanismo. Com a força de um décimo da força de atração do íman fica garantida uma margem de segurança grande que é necessária, visto que, a confiança nos cálculos da força do íman é pouca, já que, o valor foi obtido de uma fonte desconhecida que não divulga como obteve os resultados. Concluindo,  $F_e = 33,89/10 \approx 3 N$ .

Concluindo, a mola necessária deve ter o comportamento ilustrado na figura 33.



**Figura 33** - Gráfico que demonstra o comportamento da mola a caracterizar.

Para poder escolher qual a mola correta, devem ser feitos alguns cálculos de modo a garantir que a escolha a fazer a um fornecedor é fundamentada e que irá assegurar a qualidade da ligação elástica.

Na primeira abordagem não foi considerado o atrito existente entre o *bit* e as superfícies da furação do apoio do parafuso, no entanto, caso se verifique, quando for implementado o projeto, que a mola não possui força suficiente para vencer o atrito, então deve ser escolhida outra mola tendo este fator em conta, ou seja, que exerça uma força superior para que, o mecanismo funcione corretamente.

Deste modo, como a mola vai ser carregada axialmente, é preciso definir qual serão as dimensões que mola deve ter para suportar as forças e consequentes tensões a que vai estar sujeita quando for montada no mecanismo.

Quando a mola é sujeita a uma força de compressão, o arame vai ficar sujeito a um esforço transversal e a um momento torsor. Daqui, retira-se que vamos obter uma tensão de corte, devido ao esforço transversal que será constante e, uma tensão resultante do momento torsor, que varia linearmente com a distância ao centro do arame e, por isso, a tensão máxima no arame aparece no ponto onde se obtém:  $\tau_F + \tau_T = \tau_{MÁX}$ . A expressão que dá a tensão máxima é simplificada para [8]:

$$\tau = k_s \frac{8D}{\pi d^3} F \quad (2)$$

Onde  $k_s$  é um fator de concentração de tensões para o efeito do esforço transversal:

$$k_s = \frac{2C + 1}{2C} \quad (3)$$

Sendo o índice da mola definido por C que pode ser calculado pela expressão:

$$C = \frac{D}{d} \quad (4)$$

Com isto, sabemos que essa tensão máxima deve ser sempre menor que a tensão admissível. A tensão admissível para um material como arame corda de piano é, segundo o livro *Shigley's mechanical*

*engineering design* dos autores *R. G. Budynas* e *J. K. Nisbett* [21] dada por  $\tau_{adm} = 0,45 \times \sigma_{rot}$ . A tensão de rotura, por sua vez, depende, na razão inversa, do diâmetro do arame. Deste modo, a expressão que nos dá a tensão admissível fica:

$$\tau_{adm} = 0,45 \times \sigma_{rot} = 0,45 \frac{A}{d^m} \quad (5)$$

Onde  $A$  e  $m$  são valores que dependem do material da mola utilizado e estão tabelados na tabela 4, por exemplo, do livro *Shigley's mechanical engineering design* dos autores *R. G. Budynas* e *J. K. Nisbett*.

**Tabela 4** - Tabela com os valores das constantes  $A$  e  $m$  adaptada do livro *Shigley's mechanical engineering design* [21].

Material	ASTM No.	Exponent $m$	Diameter, mm	$A$ , MPa · mm <sup><math>m</math></sup>
Music wire*	A228	0.145	0.10–6.5	2211
OQ&T wire†	A229	0.187	0.5–12.7	1855
Hard-drawn wire‡	A227	0.190	0.7–12.7	1783
Chrome-vanadium wire§	A232	0.168	0.8–11.1	2005
Chrome-silicon wire	A401	0.108	1.6–9.5	1974
302 Stainless wire#	A313	0.146	0.3–2.5	1867
		0.263	2.5–5	2065
		0.478	5–10	2911
Phosphor-bronze wire**	B159	0	0.1–0.6	1000
		0.028	0.6–2	913
		0.064	2–7.5	932

A expressão final fica então:

$$0,45 \frac{A}{d^m} > k_s \frac{8D}{\pi d^3} F \quad (6)$$

Para além disto, é sabido que a mola deve ter uma determinada deformação para cumprir com os requisitos. Ora, utilizando o teorema de *Castigliano* pode obter-se a deformação como uma relação entre energia potencial e força de compressão exercida na mola:

$$\delta = \frac{dU}{dF} \quad (7)$$

A expressão simplificada fica [8]:

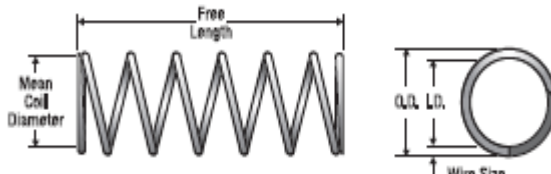
$$\delta = \frac{8D^3 N}{d^4 G} F \quad (8)$$

Assim, assumindo  $D = 4,78 \text{ mm}$ ,  $F = 3 \text{ N}$  e  $\delta > 13 \text{ mm}$  pode criar-se o seguinte sistema de inequações:

$$\left\{ \begin{array}{l} 0,45 \frac{2211}{d^{0,145}} > \frac{\frac{4,78}{d} + 1}{\frac{4,78}{d}} \frac{8 \times 4,78}{\pi d^3} 3 \\ 13 < \frac{8 \times 4,78^3 \times N}{d^4 \times 80 \times 10^3} 3 \end{array} \right. \Leftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} d > 0,32 \text{ mm} \\ N > 4,27 \text{ espiras} \end{array} \right.$$

Assim, com estes dados resta apenas escolher uma mola de um fornecedor que cumpra com os requisitos estabelecidos.

**Tabela 5** - Escolha da mola do catálogo *Century Spring* [24].



O.D.		CENTURY STOCK NUMBER	FREE LENGTH		I.D.		RATE		SUGG. MAX. DEFL.		SUGG. MAX. LOAD		SOLID LENGTH		WIRE DIA.		TOTAL COILS	MAT'L	ENDS	FINISH
Inches	mm		Inches	mm	Inches	mm	Lbs./In.	N/mm	Inches	mm	Lbs.	N	Inches	mm	Inches	mm				
0.188	4.78	153-A	1.00	25.4	.160	4.1	1.2	.22	.78	20	.97	4.3	.16	4.1	0.014	0.4	10.5	MW	C	Z
0.188	4.78	Q-69	1.00	25.4	.160	4.1	.43	.07	.63	16	.27	1.2	.37	9.4	0.014	0.4	26.5	MW	CG	N
0.188	4.78	353-A	1.00	25.4	.156	4.0	2.0	.35	.66	17	1.3	5.8	.20	5.1	0.016	0.4	11.5	MW	C	Z
0.188	4.78	N-37	1.00	25.4	.156	4.0	2.3	.41	.56	14	1.3	5.8	.18	4.5	0.016	0.4	10.0	MW	C	Z
0.188	4.78	352-A	1.00	25.4	.152	3.9	3.0	.52	.62	16	1.8	8.2	.24	6.2	0.018	0.5	12.5	MW	C	Z

Foi escolhida a mola com referência 353-A:

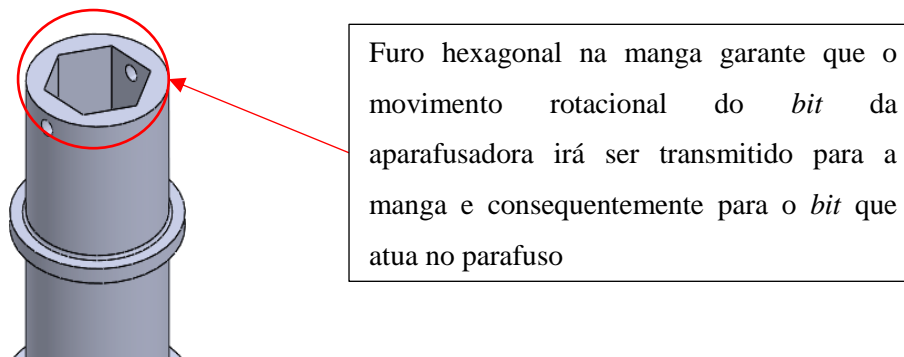
- *Diâmetro exterior* = 4,78 mm < 6 mm;
- *Deformação máx* = 17 mm > 13 mm;
- *Força máxima suportada pela mola* = 5,8 N > 3 N;
- *Diâmetro do arame* = 0,4 mm > 0,32 mm;
- *Número de espiras* = 11,5 > 4,3.

Ficam, então, cumpridos todos os requisitos necessários da mola.

#### 4.3.6 Manga telescópica

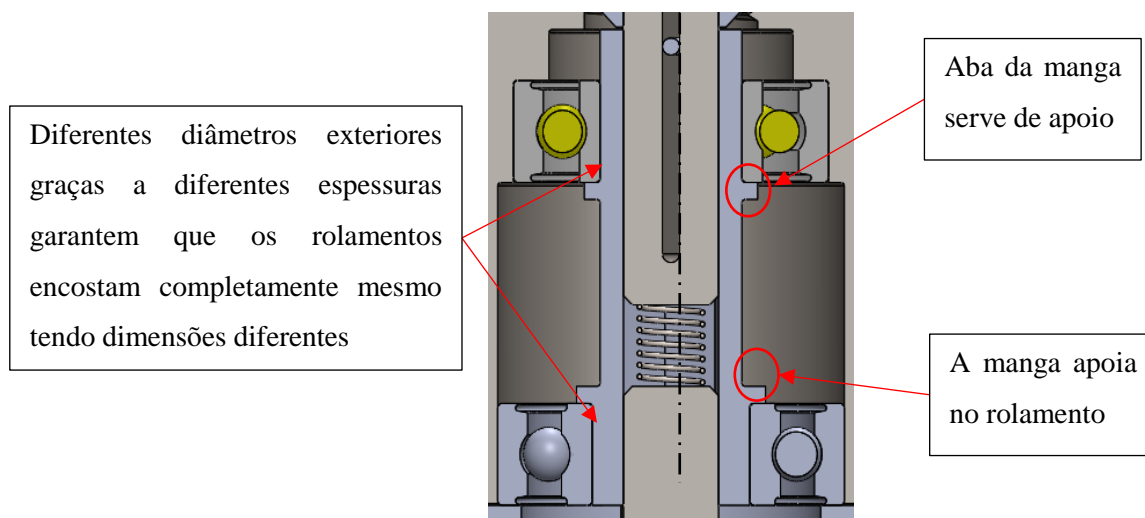
Tal como a manga exterior, a manga telescópica possui 3 funções:

1. A função principal deste componente é garantir a capacidade telescópica do mecanismo, isto porque, é esta manga que vai acomodar a mola que irá garantir que o *bit* acompanha o movimento do parafuso, bem como, transmitir o movimento proveniente do *bit* ligado à aparafusadora para o *bit* que atua no parafuso.



**Figura 34** - Pormenor do furo hexagonal da manga telescópica.

2. Outra função desta manga é de natureza estrutural. Por um lado, apoia o rolamento superior, e, por outro, a manga apoia no rolamento inferior, mas, em ambos a manga restringe o movimento dos rolamentos garantindo a sua posição como se vê na figura 35.



**Figura 35** - Pormenores da manga telescópica representada em corte.

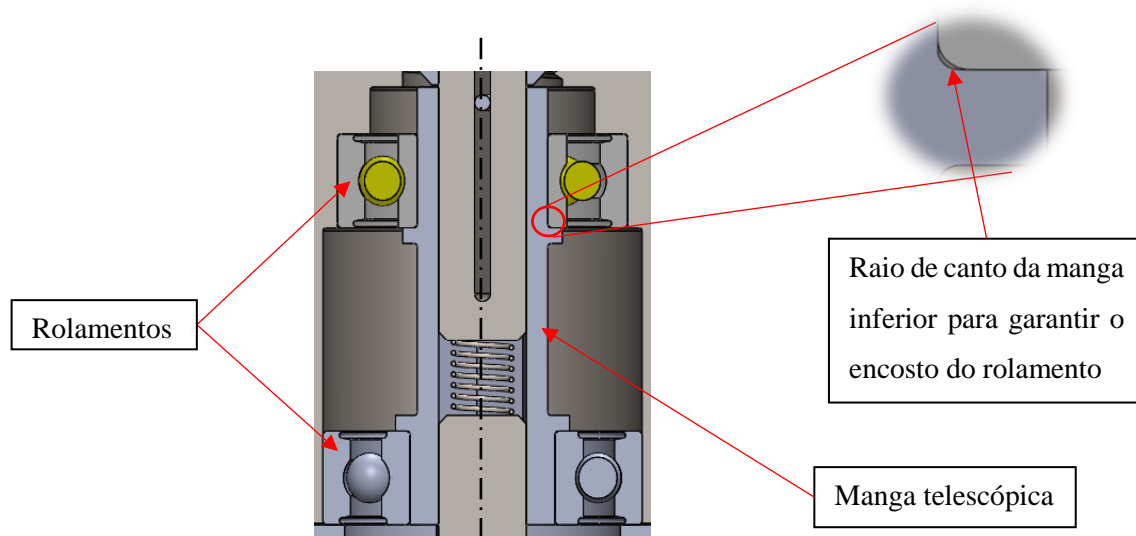
3. Por último, é na manga telescópica que entra o pino que vai limitar o movimento vertical do *bit*, para que o mesmo não possa sair do mecanismo ao ser empurrado pela mola (ver na figura 34).

#### 4.3.7 Escolha Rolamento

Tendo em conta o comprimento da manga telescópica, é preciso garantir a estabilidade do funcionamento dos *bits* para que, o eixo dos parafusos fique alinhado com o eixo dos furos, e o movimento fornecido pela aparafusadora seja corretamente transmitido até ao parafuso garantindo o cumprimento dos parâmetros de aparafusamento. Assim sendo, é necessário a utilização de rolamentos que servem um propósito estrutural que permite garantir a estabilidade do mecanismo e a qualidade das ligações aparafusadas.

Como se pode visualizar na figura 36, optou-se por colocar os rolamentos nas extremidades na manga telescópica pois, com esta configuração, garante-se a máxima estabilidade. Também se pode verificar que os rolamentos devem ser montados na manga telescópica e, a partir desse momento, montar esse conjunto no interior do mecanismo. Os rolamentos montam com um ajustamento de grande aperto no anel interior com a manga telescópica e com pouco aperto no anel exterior com a manga exterior.





**Figura 36** - Representação da configuração dos rolamentos presentes no mecanismo representada em corte.

Os rolamentos não precisam de suportar carga, apenas o peso dos componentes e, assim sendo, apenas existe o constrangimento associado às dimensões que estes devem ter para serem colocados na devida posição no interior do mecanismo.

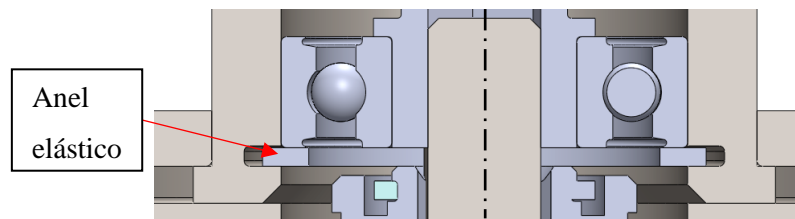
Deste modo, com recurso ao catálogo da *SKF* foi escolhido o rolamento, como se verifica na tabela 6, com base no diâmetro interior que estes devem ter para encaixar na manga telescópica e no diâmetro exterior para encostar na manga exterior.

**Tabela 6** - Escolha dos rolamentos do catálogo da SKF [22].

Dimensões principais			Classificações básicas de carga		Limite de carga de fadiga $P_u$	Classificações de velocidade		Massa	Designação
d	D	B	dinâmica C	estática $C_0$		Velocidade de referência	Velocidade-limite		
mm			kN		kN	r/min		kg	—
9	17	4	0,871	0,34	0,014	85 000	53 000	0,0034	618/9
	20	6	2,34	0,98	0,043	80 000	50 000	0,0076	619/9
	24	7	3,9	1,66	0,071	70 000	43 000	0,014	* 609
	26	8	4,75	1,96	0,083	60 000	38 000	0,02	* 629
10	19	5	1,72	0,83	0,036	80 000	48 000	0,0053	61800
	22	6	2,7	1,27	0,054	70 000	45 000	0,01	61900
	26	8	4,75	1,96	0,083	67 000	40 000	0,019	* 6000
	28	8	5,07	2,36	0,1	60 000	38 000	0,024	16100

#### 4.3.8 Escolha Freios

Para garantir a posição de certas peças do mecanismo e restringir o movimento das mesmas, é necessária a colocação de freios. Estes permitem garantir o correto funcionamento da solução proposta, para esse efeito, foram colocados freios para posicionar o rolamento como representado na figura 37.

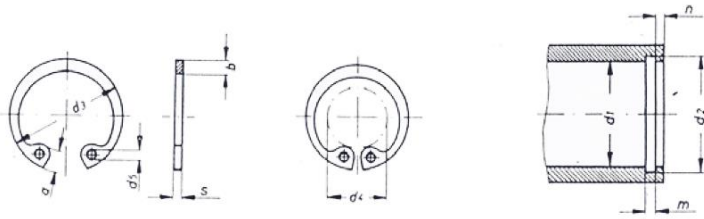


**Figura 37** - Pormenor da localização do freio representado em corte.

Desta maneira, o rolamento fica numa posição fixa sem poder ter movimento na vertical ou horizontal e, assim sendo garante-se que os rolamentos cumprem a sua função estrutural aumentando a estabilidade de todo o mecanismo.

Os freios utilizados são componentes normalizados que cumprem as normas *DIN 472*, e possuem a configuração apresentada na figura abaixo. Estes são escolhidos tendo em conta o diâmetro interior do cilindro onde vão ser inseridos e, a partir dessa medida, são definidas as dimensões da caixa onde o freio deve ser inserido.

**Tabela 7** - Escolha do freio do catálogo *Fersilva* [23].



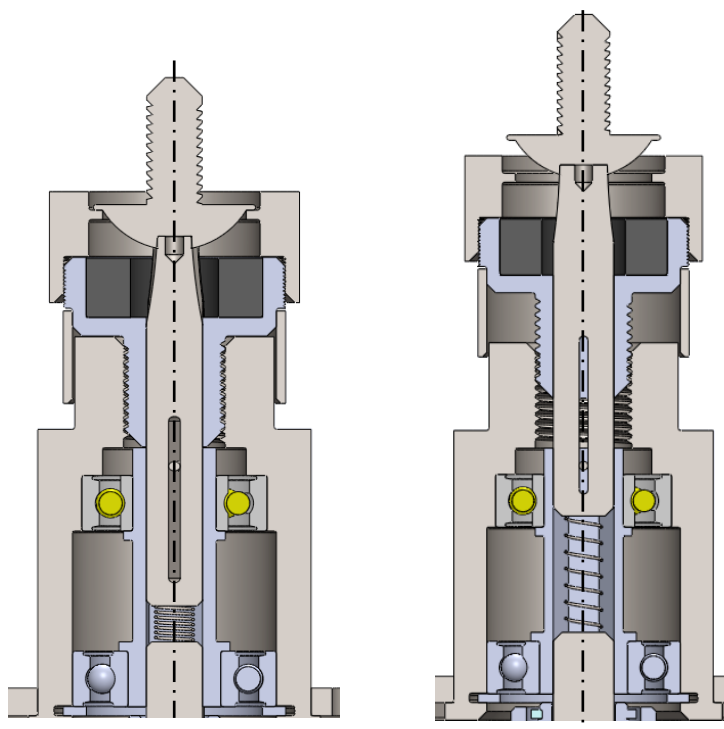
d1	s <sup>int</sup> (mm)	a máx. (mm)	b (mm)	d3 (mm)	d3 Tol. (mm)	d4 (mm)	d5 mín. (mm)	d2 (mm)	d2 Tol. (mm)	m <sup>sup</sup> (mm)	n mín. (mm)
20	1	4,2	2,3	21,5	+0,42 -0,21	10,6	2	21	h12	1,1	1,5
21	1	4,2	2,4	22,5	+0,42 -0,21	11,6	2	22	h12	1,1	1,5
22	1	4,2	2,5	23,5	+0,42 -0,21	12,6	2	23	h12	1,1	1,5
23	1,2	4,2	2,5	24,6	+0,42 -0,21	13,6	2	24,1	h12	1,3	1,5
24	1,2	4,4	2,6	25,9	+0,42 -0,21	14,2	2	25,2	h12	1,3	1,8

Concluindo, com o diâmetro interior do cilindro ( $\phi$  22 mm) podem ser retiradas as restantes dimensões tanto para a caixa, como para o freio em si.

### 4.3.9 Bit

Como já foi referido, para evitar que o *bit* saia do mecanismo, quando o parafuso não estiver posicionado no apoio e, portanto, a empurra-lo para a posição inicial, foi preciso criar uma solução que impeça que este possa ter um movimento excessivo.

Para isso, foi cortado um canal no *bit* que permite a colocação de um pino que irá ter uma função de batente na manga telescópica, isto é, quando o bit for empurrado pela mola, o pino vai manter o *bit* no mecanismo, já que o pino irá estar restringido pelos furos da manga telescópica.

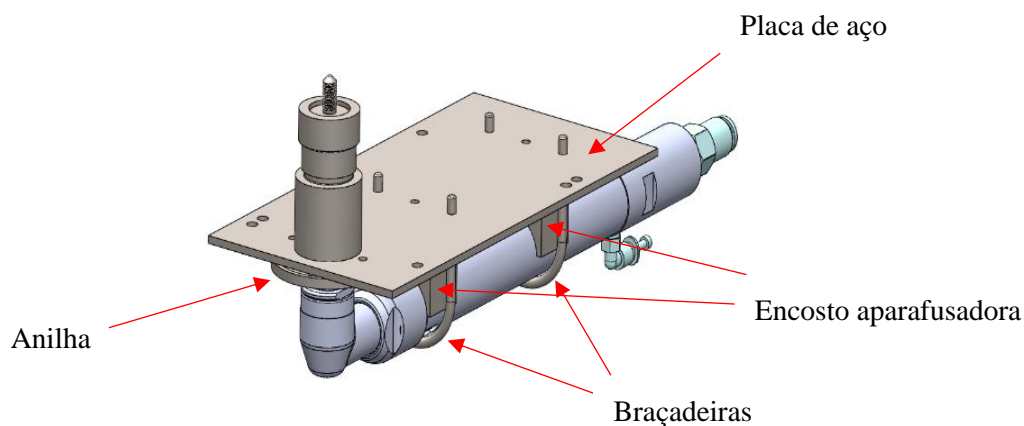


**Figura 38** – Pormenor do batente do pino representado em corte.

Como se vê na figura 38, o *bit* possui um rasgo maior que o percurso da mola, isto para que, o batente do *bit* não impeça o mesmo de manter o contacto com o parafuso até finalizar a operação de aparafusamento.

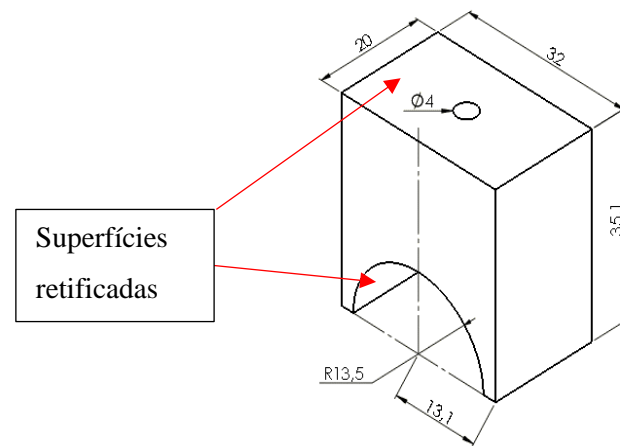
#### 4.3.10 Ligação entre mecanismo telescópico e aparafusadora

Analisando a figura 39, percebe-se que vão ser necessários quatro tipos de peças para ligar rigidamente a aparafusadora ao mecanismo: uma anilha, uma placa de aço, dois encostos para a aparafusadora e duas braçadeiras.



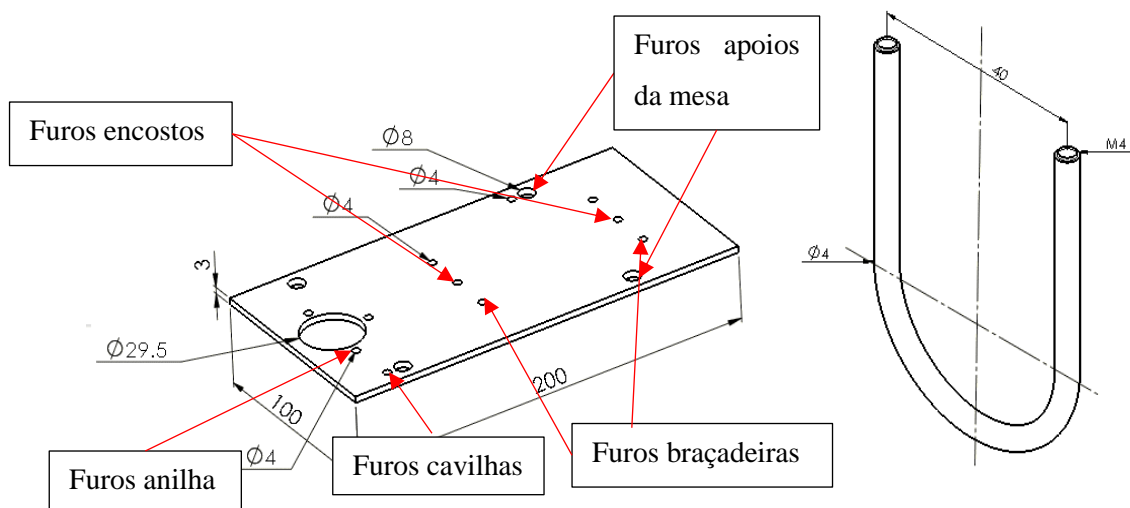
**Figura 39** - Tipos de peças para ligar mecanismo à aparafusadora.

Começando por analisar a função dos encostos, estes possuem superfícies retificadas com a mesma curvatura que a aparafusadora, assim, esta pode assentar nestes de maneira a ficar alinhada de acordo com a necessidade. Para além disso, a superfície que encosta na placa de aço terá também de ser corrigida, bem como, a superfície correspondente da placa de aço onde o encosto irá ser colocado.



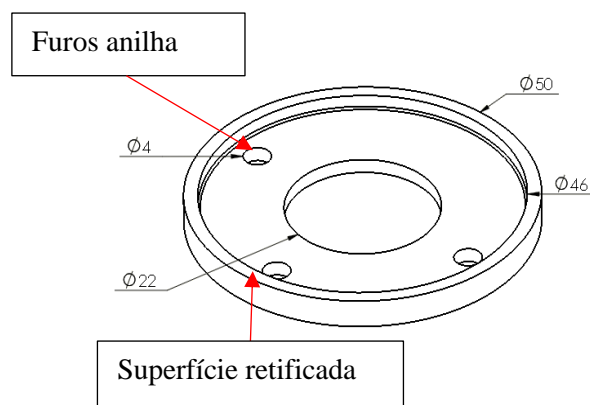
**Figura 40** - Dimensões gerais do encosto.

Para juntar a aparafusadora ao mecanismo, é necessária uma placa de aço que fixa os encostos. Isto é conseguido, fazendo passar parafusos pelos furos dos encostos na placa que depois são apertados nos furos roscados do encosto (ver figura 40) ligando os encostos à placa de aço. De seguida, as braçadeiras são colocadas à volta da aparafusadora passando pelas furações indicadas na figura 41. Apertando as braçadeiras com porcas fica garantido que a aparafusadora ficará fixa à placa do mecanismo.



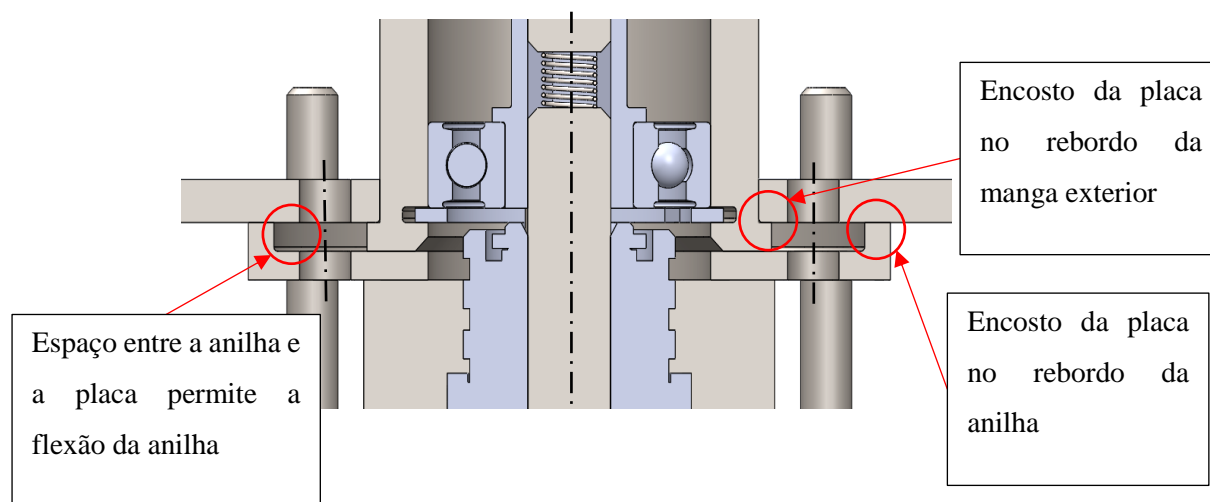
**Figura 41** - Dimensões gerais da placa de aço (à esquerda) e braçadeira (à direita).

No entanto, esta placa não pode ligar diretamente ao mecanismo, já que o rebordo na manga exterior é demasiado reduzido para realizar uma ligação aparafusada (ver figura 43). Assim sendo, um último componente tem de ser ligado, isto é a anilha.



**Figura 42** - Dimensões gerais da anilha.

Esta tem a função de compressão entre dois elementos, ou seja, a placa que apoia no rebordo da manga exterior é comprimida contra o rebordo da manga exterior, através de ligações aparafusadas, em três pontos distintos.



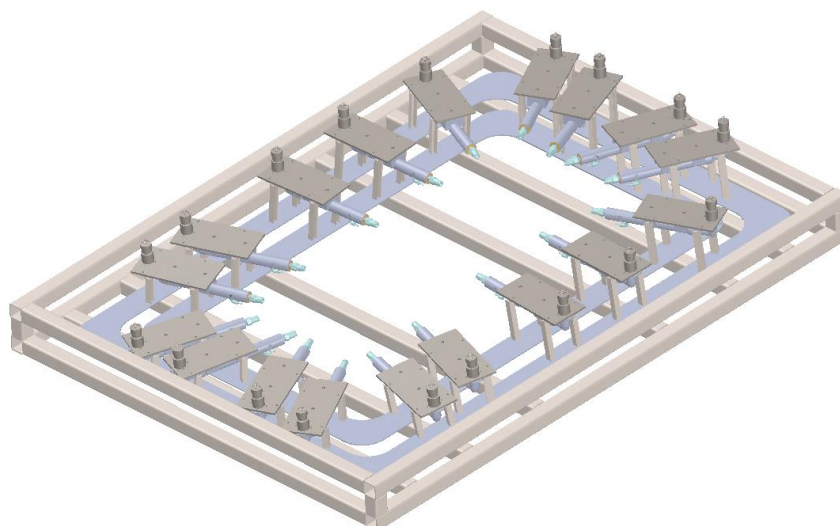
**Figura 43** - Função da anilha na ligação da placa ao mecanismo representada em corte.

#### 4.4 Sistema de adaptação à mesa de suporte

Após a definição da disposição das aparafusadoras, é necessário garantir que estas podem ser montadas na posição adequada assegurando o alinhamento dos eixos dos parafusos com os correspondentes furos.

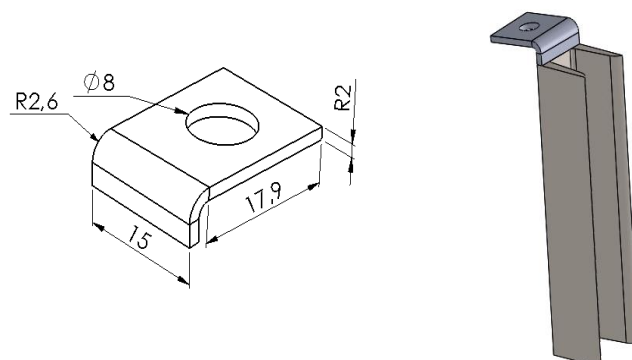
Salienta-se que o teto panorâmico tem uma geometria com curvatura quer na direção longitudinal, quer na direção transversal. Esta curvatura é marginalmente perceptível na figura 19.

A solução desenvolvida é ilustrada na figura 44.



**Figura 44** - Todas as aparafusadoras alinhadas e apoiadas na mesa de suporte.

Para concretizar esta solução, são montados apoios compostos por chapa quinada soldada a um perfil em U como se pode ver na figura 45.



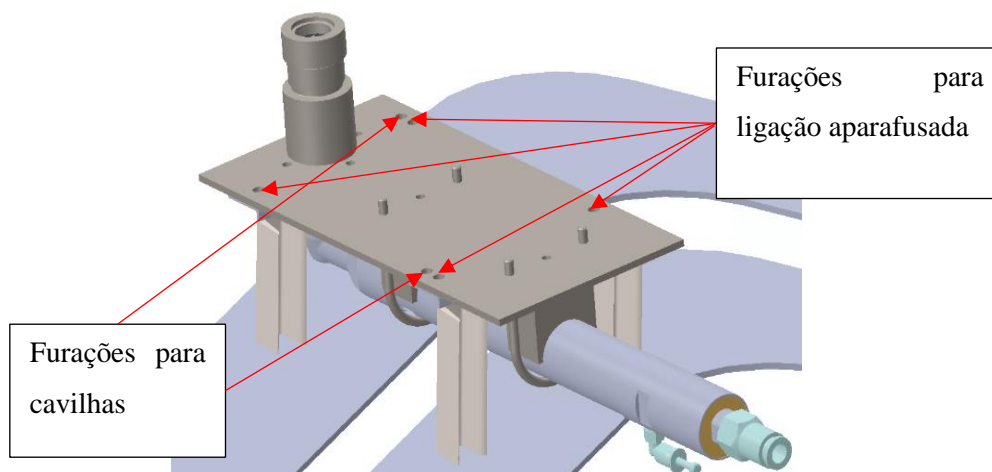
**Figura 45** - Dimensões gerais da chapa quinada (direita). Chapa unida com o perfil U (esquerda).

Para acomodar as diferenças em inclinação e distância à mesa das furações do teto panorâmico, os perfis em U que são todos adquiridos com as mesmas dimensões iniciais, sendo perfis normalizados, vão ser cortados consoante a necessidade, para garantir o alinhamento adequado de cada aparafusadora. Estes perfis são depois soldados a duas placas de aço presentes na mesa de suporte.

As superfícies das chapas possuem uma sobreespessura para, após as operações de soldadura serem concluídas, a mesa poder ser levada para um centro *CNC* e as furações e superfícies que vão encostar na placa do mecanismo são retificadas.

Depois das superfícies serem retificadas (ver figura 46), a placa do mecanismo pode encostar nos apoios e as furações das chapas devem ficar alinhados com as correspondentes da placa do mecanismo, para que, se possa realizar uma ligação aparafusada entre os dois componentes. Deste modo, se fixa o

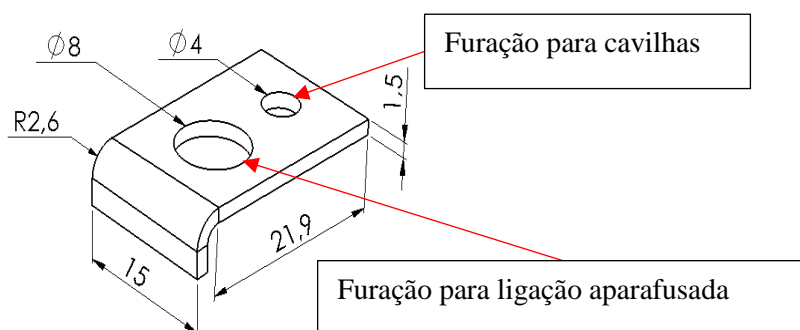
mecanismo telescópico à mesa de suporte com uma ligação não permanente o que permite realinnhar o mecanismo no caso de haver um parafuso que fique constantemente mal apertado.



**Figura 46** - Exemplo de mecanismo e aparafusadora ligados à base.

Para poder alinhar o mecanismo as chapas são produzidas em dois formatos, um com apenas uma furação (ver figura 45) e outra um pouco mais longa com uma furação extra (figura 47).

Quando for necessário realinhar o mecanismo devem ser desapertados os parafusos dos apoios e devem ser colocadas cavilhas nas furações apropriadas (ver figura 47) para, deste modo, garantir que o mecanismo fica na posição nominal, enquanto são feitos os ajustamentos.



**Figura 47** - Dimensões gerais da chapa com furação extra.

Para poder acomodar estas alterações, tanto a furação da chapa do apoio como na placa de aço são furos com folga para poder suportar pequenos ajustes no posicionamento das aparafusadoras caso seja necessário.

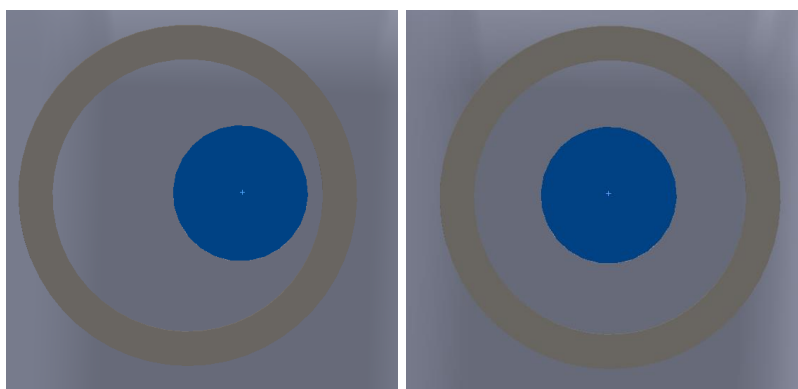
## 4.5 Processamento de imagem

### 4.5.1 Como aplicar no projeto

Para aplicar o processamento de imagem no projeto, são necessários pontos de referência que, ao serem alinhados, permitem garantir o alinhamento de todos os furos do teto com os que estão presentes na

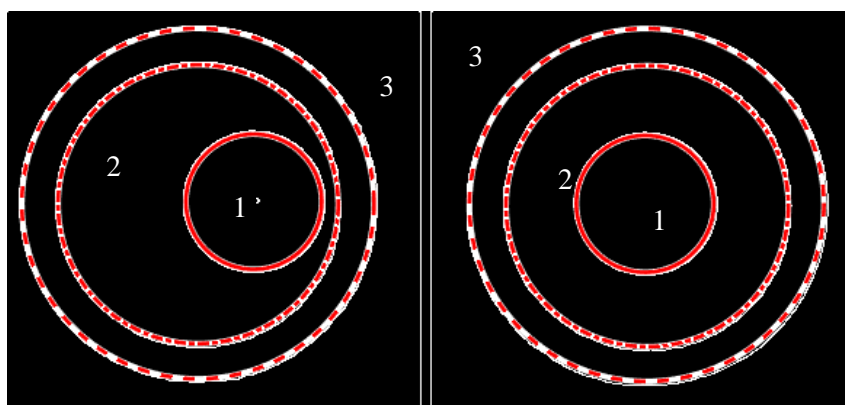
carroçaria. Para isso, são usados os pinos guia presentes na mesa que serve de suporte para o teto, sendo que, estes devem alinhar com os respectivos furos na carroçaria, deste modo, apenas será necessário tratar duas imagens para alinhar todos os furos da mesa com os da carroçaria e garantir a posição correta da mesa com a carroçaria.

Assim sendo, com a colocação da câmara no interior do pino-guia, a imagem a ser tratada será a presença de duas circunferências, uma referente ao furo no pino guia e uma circunferência mais pequena correspondente ao furo presente na carroçaria. No entanto, isto implica que é necessário realizar furações nos pinos-guia, para que possa ser colocada a câmara no seu interior. Na figura 48, está representado um caso simples que pode suceder no projeto, circunferências desalinhadas que devem ser alinhadas.



**Figura 48** - Casos simplificados das imagens que a câmara irá captar antes de orientar a mesa.

Utilizando um dos algoritmos já abordados anteriormente, criou-se um código em *MATLAB* para analisar e medir o raio e coordenadas do centro de cada círculo e, deste modo, poder corrigir a posição da mesa e garantir a correta posição de todos os furos e parafusos. Com o código em ANEXO A foi possível obter o seguinte resultado representado na figura 49 do exemplo ilustrado na figura 48.



**Figura 49** - Identificação das circunferências através do código de *MATLAB*.



**Tabela 8** - Dados obtidos pelo programa referentes ao caso simples apresentado.

Caso		Centro (x,y) *1.0e+02 (píxeis)		Raio (píxeis)
Desalinhado	1	1.71	1.33	46.7
	2	1.33	1.35	96.3
	3	1.33	1.35	1.21*1.0e+02
Alinhado	1	4.40	1.35	47.3
	2	4.42	1.36	97.1
	3	4.41	1.35	1.22*1.0e+02

De notar que o código permitiu identificar todas as circunferências sem qualquer ruído e, para além disso, determinou com bastante precisão o centro e o raio de todos.

Este exemplo tenta ser relativamente aproximado ao que irá suceder no projeto real. Na aplicação real, o programa terá de ser capaz de identificar as fronteiras dos furos e, a partir desse momento, o programa determina o seu centro, tal como no exemplo. De seguida, com essa informação o programa irá, para além disto, dar a instrução para que a mesa se movimente no plano paralelo ao teto até os centros das imagens estarem alinhados dentro de uma determinada tolerância. Quando os furos estiverem alinhados a mesa pode subir e o processo prossegue com o aparafusamento dos parafusos.

#### 4.5.2 Câmaras

Para realizar o processamento de imagem é, obviamente, necessário captar uma imagem da situação em questão para, de seguida, ser realizada uma análise da situação num determinado momento para o sistema saber como deve atuar.

Para isso, neste caso, deve-se utilizar uma câmara fotográfica, mas, no entanto, tem de ser uma câmara que seja de dimensões reduzidas devido à restrição de espaço existente no projeto. Optou-se por uma opção como aquelas usadas em operações médicas, representada na figura 50, deste modo, será possível a colocação da câmara no interior do pino-guia conseguindo obter a imagem como demonstrado no exemplo do subcapítulo anterior. Para além da sua grande flexibilidade, estas câmaras estão adaptadas para trabalhar em locais escuros tendo inclusive lanternas ao lado da lente que, no caso deste projeto, irá permitir obter um melhor contraste na imagem facilitando o trabalho do programa em encontrar as geometrias necessárias. Estas câmaras conseguem ser pequenas (diâmetro de 8 mm normalmente) sem sacrificar em demasia a qualidade de imagem, sendo que, quanto mais qualidade a imagem a analisar tiver mais facilmente se garante a precisão necessária.



**Figura 50** - Câmara de endoscopia.

A câmara da figura 50 é um bom exemplo de como, apesar de ser uma câmara compacta, continua a ter uma resolução 1280x720 pixéis. Isto significa que, se tivermos uma imagem que representa 10x10 centímetros, cada pixel irá representar:

$$\text{horizontal: } \frac{100 \text{ mm}}{1280 \text{ pixel}} = \frac{x \text{ mm}}{1 \text{ pixel}} \Rightarrow x = 0,0781 \text{ mm}$$

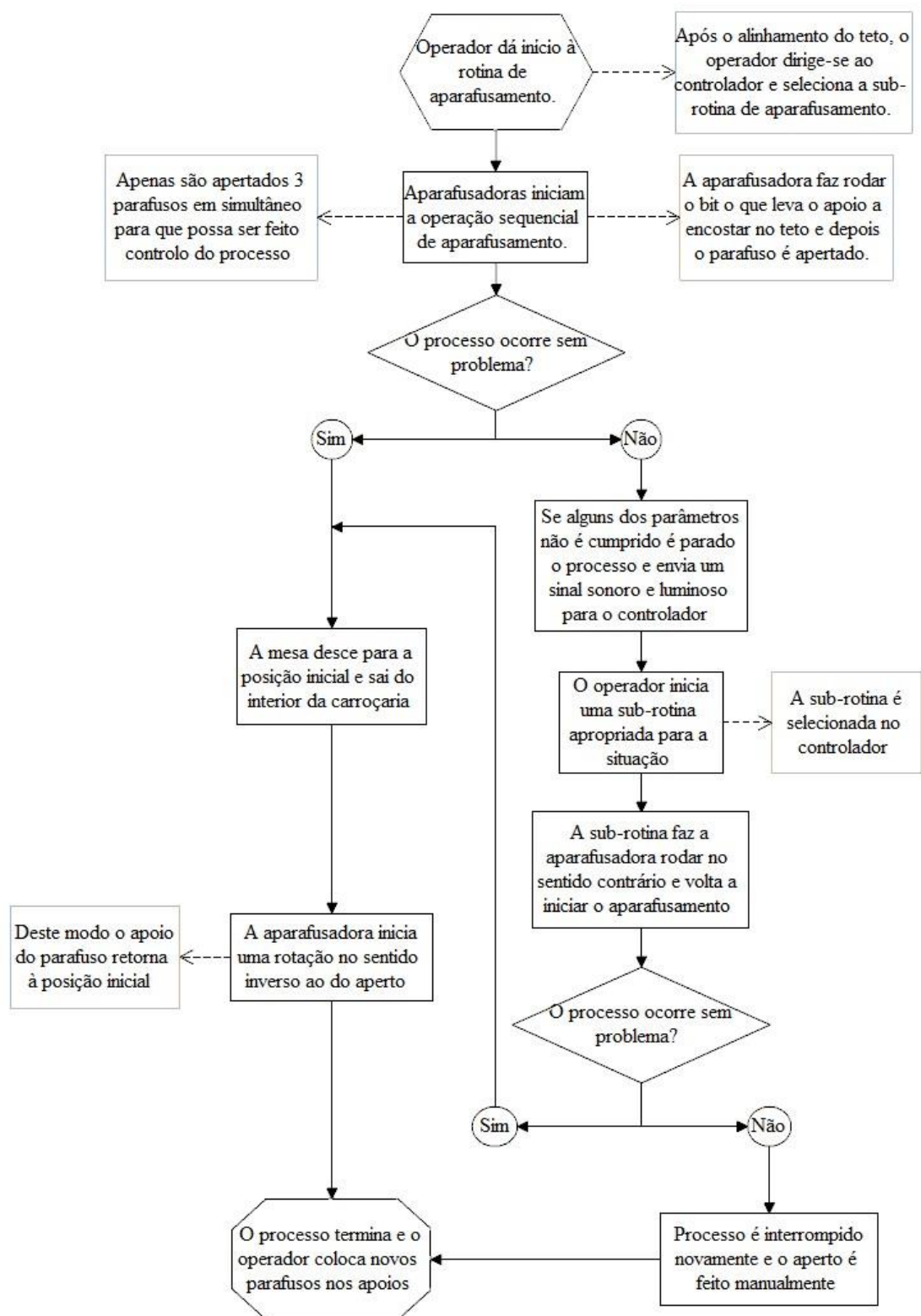
$$\text{vertical: } \frac{100 \text{ mm}}{720 \text{ pixel}} = \frac{x \text{ mm}}{1 \text{ pixel}} \Rightarrow x = 0,139 \text{ mm}$$

Isto implica que, estamos a lidar com uma precisão, no pior dos casos, de 0,15 milímetros que, para a situação em causa, é mais que suficiente para garantir o alinhamento dos furos.

## 4.6 Programação da aparafusadora

Sendo que foi definido o uso de uma solução com controladores elétricos, deve ficar bem definido qual a sequência de ações da aparafusadora.

Embora existam programas criados pelos fornecedores e estes possam ser adotados numa fase posterior do projeto, foi definida a sequência de ações que garante o comportamento do sistema de acordo com as necessidades do projeto.



**Figura 51** - Sequência de ações das aparafusadoras.

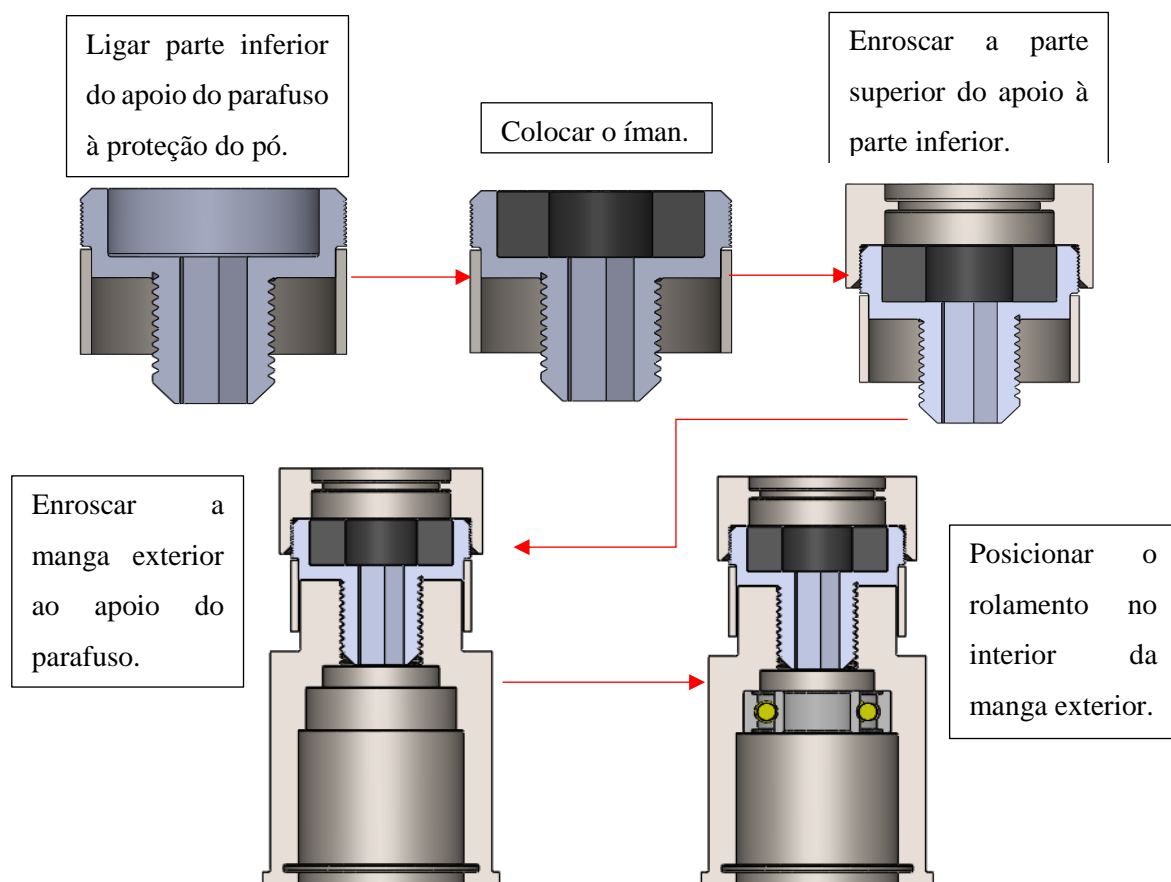
## 4.7 Montagem e desmontagem do mecanismo

Definir corretamente o processo de montagem e desmontagem é absolutamente essencial para que, seja possível criar um mecanismo em que se possa fazer a manutenção das peças e, também se possa substituir peças em caso de avaria, isto sem ser necessário substituir todo o mecanismo.

Deve ser referido que, não devem ser deixadas arestas vivas em nenhum dos componentes e, que estas devem ser retificadas para aumentar a segurança quando se manejar os componentes e facilitar também a montagem dos mesmos.

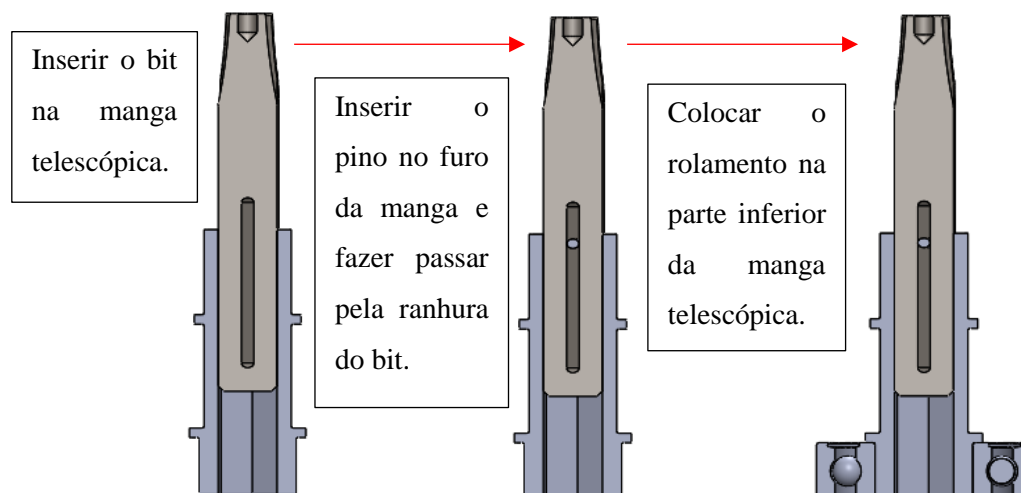
Neste subcapítulo define-se o processo de montagem de subconjuntos que posteriormente montam uns nos outros.

### Subconjunto do apoio do parafuso com a manga exterior



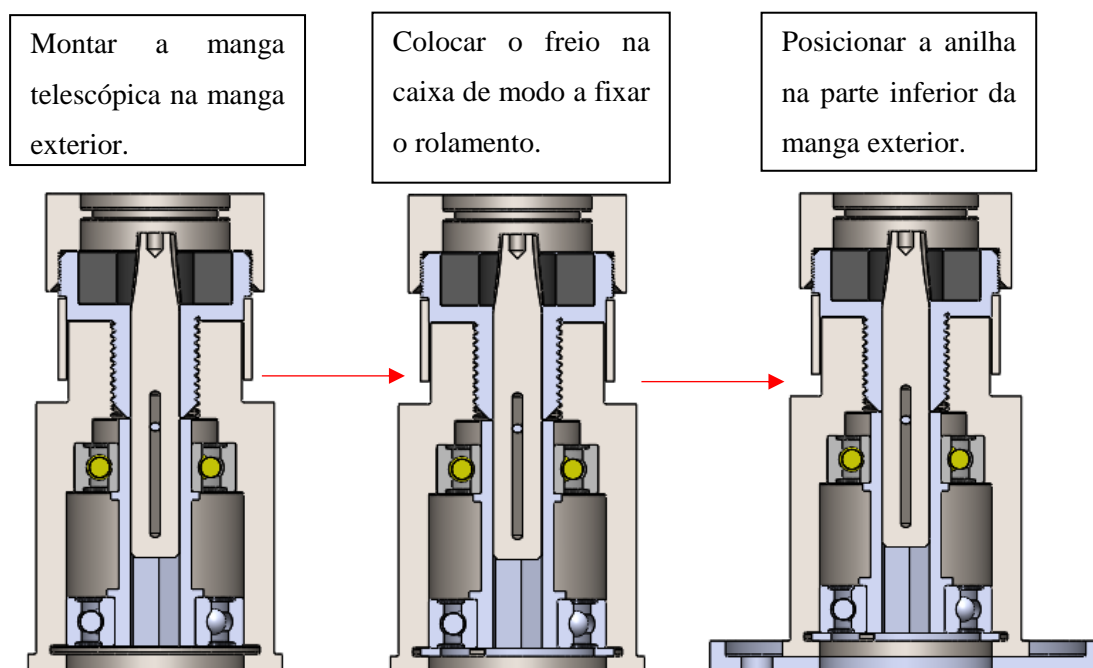
**Figura 52** - Sequência de montagem do subconjunto do apoio do parafuso na manga exterior representada em corte.

### Subconjunto da manga telescópica



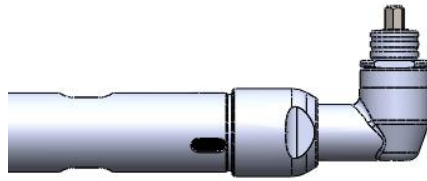
**Figura 53** - Sequência de montagem da manga telescópica representado em corte.

### Subconjunto da manga telescópica no restante conjunto



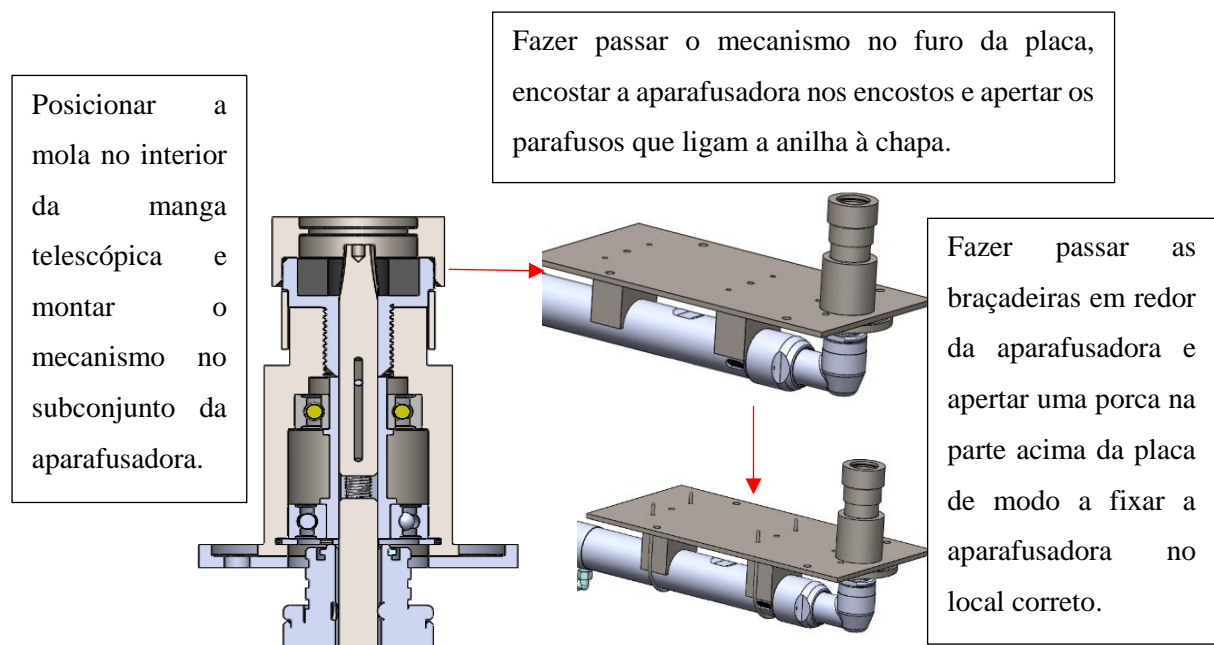
**Figura 54** - Sequência de montagem da manga telescópica no restante conjunto representado em corte.

## Colocação do bit na aparafusadora



**Figura 55** - Imagem do bit na sua posição na aparafusadora.

## Montagem dos componentes que ligam o mecanismo e aparafusadora



**Figura 56** - Montagem dos componentes que ligam a aparafusadora com o mecanismo.

## Análise de custos

Neste capítulo pretende-se fazer uma abordagem aos custos inerentes ao projeto descrito ao longo desta dissertação, para isso, são definidos os preços dos equipamentos necessários e os custos de material e maquinação de certas peças. Com esta informação, compara-se essas despesas com as vantagens que o projeto traz para a empresa e, deste modo avaliar a viabilidade deste projeto.

### 5.1 Custos

#### Aparafusadoras

Os custos referentes às aparafusadoras e o equipamento que lhes está associado são os mais relevantes para um projeto desta natureza. Assim, de seguida, apresenta-se o custo referente aos equipamentos necessários, tanto para o caso da opção pneumática como da opção elétrica, esses dados foram fornecidos pela *Deprag*.

**Tabela 9** - Tabela de preços de aparafusadoras do fornecedor Deprag.

	Pneumáticas	Elétricas
<b>Aparafusadoras</b>	2500 €	3750 €
<b>Controladores</b>	2700 €	4880 €
<b>Cabos (8 metros)</b>	-	443 €

Como já foi explicado anteriormente, a opção de projeto recaiu na escolha de aparafusadoras elétricas graças a todas as funções que os seus controladores possuem. No entanto, tendo em conta a diferença de preços foi definido que não se iria utilizar um controlador para cada aparafusadora, deste modo, definiu-se que se iria adquirir 3 controladores e cada um deles irá controlar 6 aparafusadoras. Isto tem consequências, principalmente o facto de apenas 3 aparafusadoras poderem atuar em simultâneo já que, o controlador não pode atuar em mais do que uma aparafusadora em simultâneo.

Concluindo, os custos totais das aparafusadoras ficam em:

$$18 \times 3750 + 3 \times 4880 + 18 \times 443 = 90\,144 \text{ €}$$

## Componentes normalizados

Para a criação do projeto, é necessário a utilização de certos componentes normalizados, não havendo necessidade de produzir os mesmos, os custos associados são simplesmente a despesa necessária para adquirir esses componentes de fornecedores especializados na sua produção. Os elementos que estão presentes no projeto normalizados são:

- Ímanes

Cada mecanismo telescópico possui um íman para fixar o parafuso no sítio correto, do fornecedor selecionado *KJ Magnetics*.

- Rolamentos

Cada mecanismo telescópico possui dois rolamentos diferentes com funções estruturais, do fornecedor selecionado *SKF*.

- Freios

Cada mecanismo telescópico possui um freio, que cumpre com a norma *DIN 472* e possui um diâmetro de 24 milímetros, para bloquear o movimento do rolamento, do fornecedor *Fersilva*.

- Custo de material

O material a ser usado nas peças é um aço comum CK 45, este deve ser adquirido em forma cilíndrica com diâmetro de 40 milímetros e, deste modo, facilita o processo de maquinação, já que, as peças a trabalhar possuem, na sua grande maioria uma geometria final cilíndrica.

As encomendas deste género são, normalmente, feitas com pedidos mínimos de uma tonelada de material o que, neste caso, sendo apenas necessário criar 18 conjuntos, é uma quantia exagerada. No entanto, para efeitos académicos assume-se que é necessário fazer um pedido destas dimensões.

- Parafusos, pernos, porcas e anilhas

Estes elementos são extremamente comuns e podem ser adquiridos com relativa facilidade sendo componentes muito baratos. Neste projeto será necessário um grande número de parafusos, sendo que, deu-se preferência ao uso de ligações não permanentes que permitem a manutenção e montagem e desmontagem fácil do mecanismo.

- Perfis U

Estes elementos serão usados para adaptar o mecanismo telescópico à mesa de suporte sendo necessário, para cada mecanismo, quatro perfis que devem ser cortados de acordo com as especificações de projeto.

- Máquinas fotográficas



As duas câmaras utilizadas para o processamento de imagem, realizada nos pinos-guia presentes na mesa são relativamente comuns com preços que variam de 50 a 400 euros não sendo necessário uma câmara topo de gama para captar uma imagem com resolução suficiente para o código conseguir reconhecer as fronteiras.

Analisando os custos de cada um destes elementos, percebe-se que será necessário garantir um orçamento de aproximadamente 2 000 €.

### **Custos de maquinação e de mão de obra**

O custo de maquinação inclui as despesas relativas a todos os processos de fabrico necessários realizar para transformar o material bruto nas peças do mecanismo, mais concretamente, manga exterior, manga telescópica, apoio do parafuso, placa do mecanismo encostos da aparafusadora, manga de proteção entre outras pequenas operações.

Estes componentes para terem as dimensões e acabamentos necessários devem ter de ir ao torno ou fresa e em alguns casos furação. Estes processos possuem custos que são aproximadamente:

- *Torno CNC*  $\approx 120 \text{ €/h}$
- *Centro CNC*  $\approx 260 \text{ €/h}$

Para determinar com toda a certeza o custo dos componentes, dever-se-ia estudar qual a sequência de operações a executar e, posteriormente, determinar os avanços das ferramentas e, a partir daí, é possível definir qual o tempo certo para realizar o processo de maquinação de cada componente.

No entanto, tendo em conta o valor das despesas associadas às aparafusadoras esse valor será relativamente pequeno e, deste modo, assume-se que para produzir 18 conjuntos serão necessárias 20 horas em cada um dos centros, o que garante que todas as necessidades serão satisfeitas. Concluindo:

$$\text{Custo de maquinação} = 120 \times 20 + 260 \times 20 = 7\,600 \text{ €}$$

Os custos de mão de obra envolvem todo o tempo que um operador necessita para maquinar e montar todos os mecanismos telescópicos existentes no projeto. Para conseguir definir a despesa que o operador iria trazer define-se um custo por hora de 20€/hora e, assume-se também, que são necessárias 100 horas de trabalho, assim sendo:

$$\text{Custo de mão de obra} = 20 \times 100 = 2\,000 \text{ €}$$

### **Orçamento total**

O orçamento total do projeto, somando todas as despesas fica, então:

$$\text{Orçamento} = 90\,144 + 2\,000 + 7\,600 + 2\,000 = 101\,744 \text{ €}$$

No entanto, não se deve esquecer que com este projeto se consegue reduzir o número de operários de dois para um. Assim sendo, o dinheiro que seria gasto com este operário passará a ser considerado como lucro. Concluindo, assume-se, que para um operário, devido a salários, seguro de saúde, segurança social, subsídios de alimentação, de transporte e de férias, a empresa gasta aproximadamente:

$$\text{custo de operador por ano} = 40\,000\text{€}$$

Para além disto, a empresa trabalha por turnos o que implica que, por cada turno pode ser retirado um operador, então sabendo que a empresa trabalha com três turnos pode ser poupado um total de 120 000€ por ano.

Comparando agora o orçamento total com os custos que se irá poupar, percebe-se que em aproximadamente 8 meses existe retorno do investimento inicial e, claramente, a partir desse momento, a instalação deste projeto na linha de montagem começa a implicar lucro.

# 6

## Conclusões

Como se observa na análise de custos, o custo de implementação do projeto é relativamente elevado, no entanto, os componentes que tornam o mesmo mais dispendioso são os relativos às aparafusadoras e, como a quantidade de equipamento a encomendar é elevada, pode ser possível negociar a compra do equipamento com o fornecedor e, deste modo, tentar obter um desconto que permita reduzir significativamente o orçamento.

O custo inicial será mitigado pelo facto de o projeto permitir reduzir o número de operadores ad estação de trabalho de dois para apenas um. Concluindo, apesar do elevado investimento inicial em relativamente pouco tempo, será possível compensar este esforço inicial e, até obter lucro.

Para além disso, com a implementação do projeto permite-se aumentar a cadência da estação de trabalho e, por outro lado, torna-se o processo mais seguro e cómodo para os operadores.

Embora se considere que o projeto é viável, o mesmo possui pormenores que podem ser aprimorados. No entanto, devido à situação delicada da introdução de um novo projeto automóvel na fábrica houve uma grande dificuldade de comunicação entre a empresa e a faculdade.

Assim sendo, sem a possibilidade de poder discutir as particularidades do projeto com um representante da fábrica foi impossível determinar-se a totalidade dos constrangimentos do projeto e desejos da parte interessada. Com esta situação, foi muito difícil obter modelos e informação das partes relevantes para o projeto, sendo que, o único desenho fornecido foi o da parte superior da carroçaria do automóvel. Assim sendo, a solução proposta foi obtida fazendo suposições que podem não ser tão aproximadas da realidade como seria desejável.

Deste modo, o projeto foi desenvolvido com o interesse académico em mente ao invés de puramente com o pragmatismo. Isto não significa que a solução encontrada não seja funcional, sendo que, se fez um grande esforço para que fosse criado um projeto realista, praticável e viável.

Esta solução é, essencialmente, constituída pelo mecanismo telescópico que permite que as aparafusadoras não tenham movimento relativamente à mesa de suporte, embora, na indústria seja mais comum o equipamento que executa a operação de aparafusamento, acompanhar o movimento do parafuso.

Apesar de este projeto ser exequível, existem pormenores que sendo alterados permitem facilitar o a automação da estação de trabalho. Deste modo, referem-se algumas sugestões que permitem ajudar a implementação das práticas discutidas nesta dissertação.

Um das dessas sugestões, pretende facilitar a aplicação do processamento de imagem e, passa por afastar os furos dos pinos guia das restantes furações onde se deve colocar os parafusos. Assim, poderá ficar facilitada a colocação das câmaras na posição correta, sem ser necessário alterar os pinos-guia e, deste modo, facilitar processos de manutenção e permite realizar ajustes da câmara e do mecanismo mais facilmente.

Outra sugestão, prende-se com a criação de um sistema semelhante, mas que possa ser adaptável a outras geometrias de teto, orientação de parafusos ou até diferente número de parafusos. Esta ideia provém do facto de, passarem pela estação de trabalho mais do que um modelo automóvel, assim, se for possível criar um projeto adaptável a todos os casos, para além de ter mais valor para a empresa, possuiria também maior interesse futuro, já que, um sistema adaptável pode manter-se em utilização durante um maior período de tempo, o que pode também justificar um investimento superior. Isto não foi realizado nesta dissertação, tendo em conta a falta de informação fornecida pela empresa, no entanto, caso a empresa demonstre disponibilidade seria possível conceber o projeto descrito.

Como trabalho futuro, sugere-se que se faça um estudo dos componentes a produzir, isto é, não só analisar quais os processos de maquinação a efetuar, escolha de ferramentas e realizar o plano de processo para cada peça, mas também, fazer um estudo do toleranciamento de todo o mecanismo.

## Referências Bibliográficas

- [1] “Screwdriving Technology and Quality Assurance,” 2015. [Online]. Available: [http://www.deprag.com/fileadmin/bilder\\_content/emedi/broschueren\\_pics/Allgemein\\_PDF/D0080/D0080en.pdf](http://www.deprag.com/fileadmin/bilder_content/emedi/broschueren_pics/Allgemein_PDF/D0080/D0080en.pdf). [Accessed: 11-Feb-2017].
- [2] Stress Indicators Inc., “Bolting - Basics, Tips & Best Practices,” 2016. [Online]. Available: <http://www.smartbolts.com/fundamentals/>. [Accessed: 21-Mar-2017].
- [3] J. Raymond A. Serway, John W. Jewett, *Physics for Scientists and engineers with modern physics*, Seventh Ed. .
- [4] R. S. Shoberg, “Engineering fundamentals of threaded design and analysis,” *PCB Load Torque*, pp. 1–39, 2008.
- [5] S. a. Nassar and X. Yang, “Torque-Angle Formulation of Threaded Fastener Tightening,” *J. Mech. Des.*, vol. 130, no. 2, p. 24501, 2008.
- [6] D. Croccolo, M. De Agostinis, and N. Vincenzi, “Failure analysis of bolted joints: Effect of friction coefficients in torque-preloading relationship,” *Eng. Fail. Anal.*, vol. 18, no. 1, pp. 364–373, 2011.
- [7] S. A. Nassar, G. C. Barber, and D. Zuo, “Bearing Friction Torque in Bolted Joints,” *Tribol. Trans.*, vol. 48, no. 1, pp. 69–75, 2005.
- [8] A. J. A. Martinho, “Órgãos de Máquinas I.” 2012.
- [9] S. a. Nassar, S. Ganeshmurthy, R. M. Ranganathan, and G. C. Barber, “Effect of Tightening Speed on the Torque-Tension and Wear Pattern in Bolted Connections,” *J. Press. Vessel Technol.*, vol. 129, no. 3, p. 426, 2007.
- [10] J. Q. Guo, X. T. Zheng, Y. Zhang, H. C. Shi, and W. Z. Meng, “A Unified Continuum Damage Mechanics Model for Predicting the Stress Relaxation Behavior of High-Temperature Bolting,” *J. Press. Vessel Technol.*, vol. 136, no. 1, p. 11203, 2013.
- [11] J. H. Bickford, *Introduction to the Design and Behaviour of Bolted Joints - Non-Gasketed Joints*, Fourth edi. .
- [12] T. Fukuoka and T. Takaki, “Mechanical Behaviors of Bolted Joint during Tightening Using Torque Control,” *JSME International J.*, vol. 41, no. 2, pp. 185–191, 1998.
- [13] Rexroth, “Electric tightening systems – Increased productivity and reliability.” [Online]. Available: <http://www.equinotec.com/web/galeria/family/pdf/141025453211254.pdf>. [Accessed: 11-Feb-2017].

- [14] Assembly Automation, “Screw Driving Components For Robots.” [Online]. Available: <http://www.assemblyauto.com/screw-driving-components-for-robots/>. [Accessed: 11-Feb-2017].
- [15] P. F. De Matos, “Aparafusamento de Peças Plásticas na Produção em Série na,” Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2011.
- [16] A. Acharya, Tinku and Ray K., *Image Processing Principles and Applications*. JOHN WILEY & SONS, MC., PUBLICATION, 2005.
- [17] D. Faria, “Trabalhos Práticos Análise e Processamento de Imagem,” Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010.
- [18] “Direct Industry.” [Online]. Available: <http://www.directindustry.com/pt/prod/ggr-group/product-120455-1711696.html>. [Accessed: 05-Sep-2017].
- [19] Wiha, “Camout-Effect.” [Online]. Available: <https://www.wiha.com/en/cam-out-forces-and-other-problems-with-screws/>. [Accessed: 11-Sep-2017].
- [20] KJ Magnetics, “KJ Magnetics.” [Online]. Available: <https://www.kjmagnetics.com/proddetail.asp?prod=RC62>. [Accessed: 11-Sep-2017].
- [21] Budynas-Nisbett, *Shigley’s Mechanical Engineering Design*, Eight edit. 2006.
- [22] SKF, “Rolamentos de esferas,” 2015.
- [23] Fersilva, “Elementos de fixação e normalizados.”
- [24] C. Spring, “Spring Catalogue.”

# ANEXOS

## Anexo A – Código em *Matlab*

```
clear;
clc;

% Diretoria da imagem
cd C:\Users\João\Desktop\TESE;

% Leitura da imagem
i = imread('EXEMPLO2.jpg');

% Conversao para preto e branco
I = rgb2gray(i);

% Parametro de ajuste da sensibilidade na deteção dos contornos
sensitivity = 0.045;

% Aplicacao dos metodos de processamento de imagem
% embora existam vários os melhores resultados foram obtidos
% com o metodo de Canny
% Roberts
% edge_roberts = edge(I,'Roberts');
% Prewitt
% edge_prewitt = edge(I,'Prewitt');
% Sobel
% edge_sobel = edge(I,'Sobel');
% LOG
% edge_log = edge(I,'log');
% Canny
edge_canny = edge(I,'Canny',sensitivity);

%Para determinar o raio aproximado usa-se a ferramenta imdistline
%(apenas é necessário executar uma vez)
%d = imdistline;
%delete(d);

% Com o seguinte comando ordena-se que se procure as circunferências na
% imagem já tratadas
[centers, radii] = imfindcircles(edge_canny,[20 50],'ObjectPolarity','dark',...
    'Sensitivity',0.92)
[centers1, radii1] = imfindcircles(edge_canny,[61 80],'ObjectPolarity','dark', ...
    'Sensitivity',0.92)
[centers2, radii2] = imfindcircles(edge_canny,[81 110],'ObjectPolarity','dark', ...
    'Sensitivity',0.92)
```



```
[centers3, radii3] = imfindcircles(edge_canny,[111 140], 'ObjectPolarity', 'dark', ...  
'Sensitivity', 0.92)  
  
% Mostra a imagem  
imshow(edge_canny);  
  
% Desenha círculos onde o programa encontrou círculos  
% viscircles(centers, radii);  
% viscircles(centers1, radii1, 'LineStyle', '--');  
% viscircles(centers2, radii2, 'LineStyle', '-.');  
% viscircles(centers3, radii3, 'LineStyle', '--');  
  
% Calculo do desvio  
desviox= centers2(1)-centers(1)  
desviy= centers2(2)-centers(2)  
desvio= sqrt(desviox^2+desviy^2)
```

## Anexo B – Desenhos referentes ao mecanismo telescópico

Folha P.00 – Desenho do conjunto do mecanismo telescópico

Folha P.01 – Desenho do apoio do parafuso superior

Folha P.02 – Desenho da anilha

Folha P.03 – Desenho do apoio do parafuso inferior

Folha P.04 – Desenho da manga telescópica

Folha P.05 – Desenho da manga exterior

Folha P.06 – Desenho da manga de proteção

Folha P.07 – Desenho da placa do mecanismo

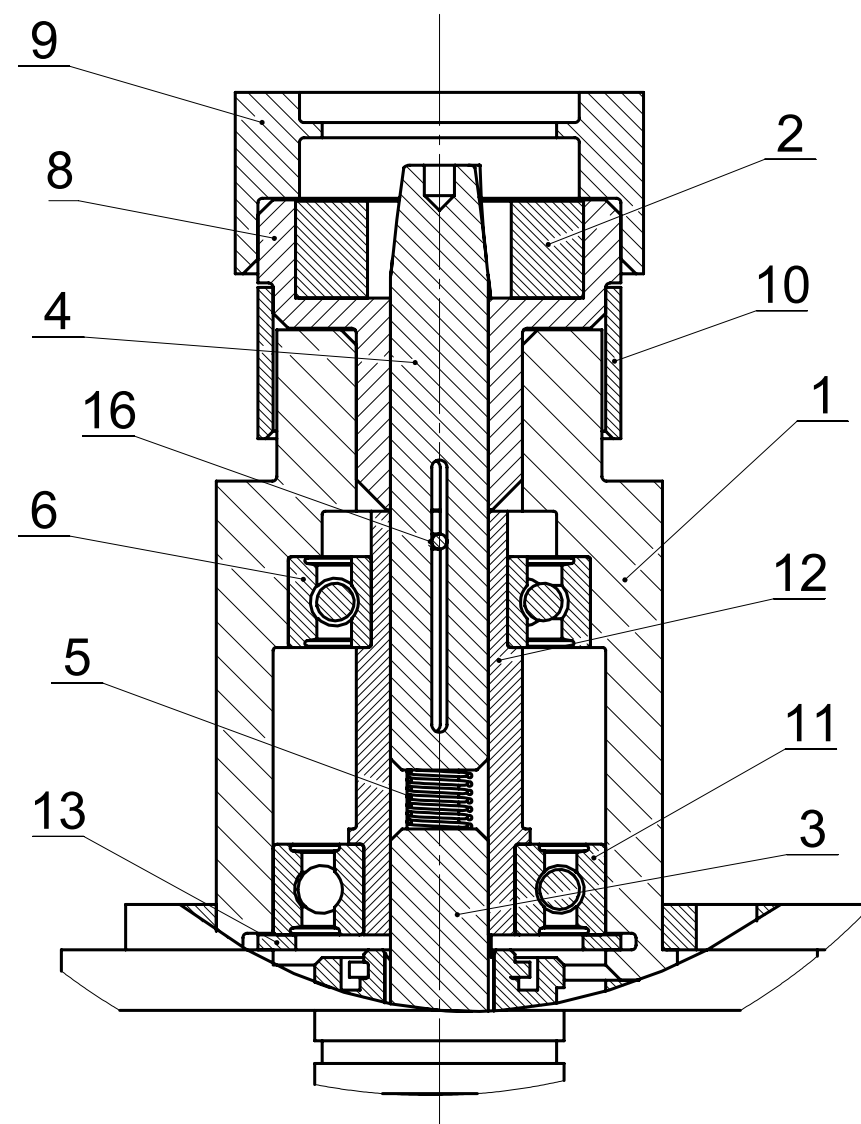
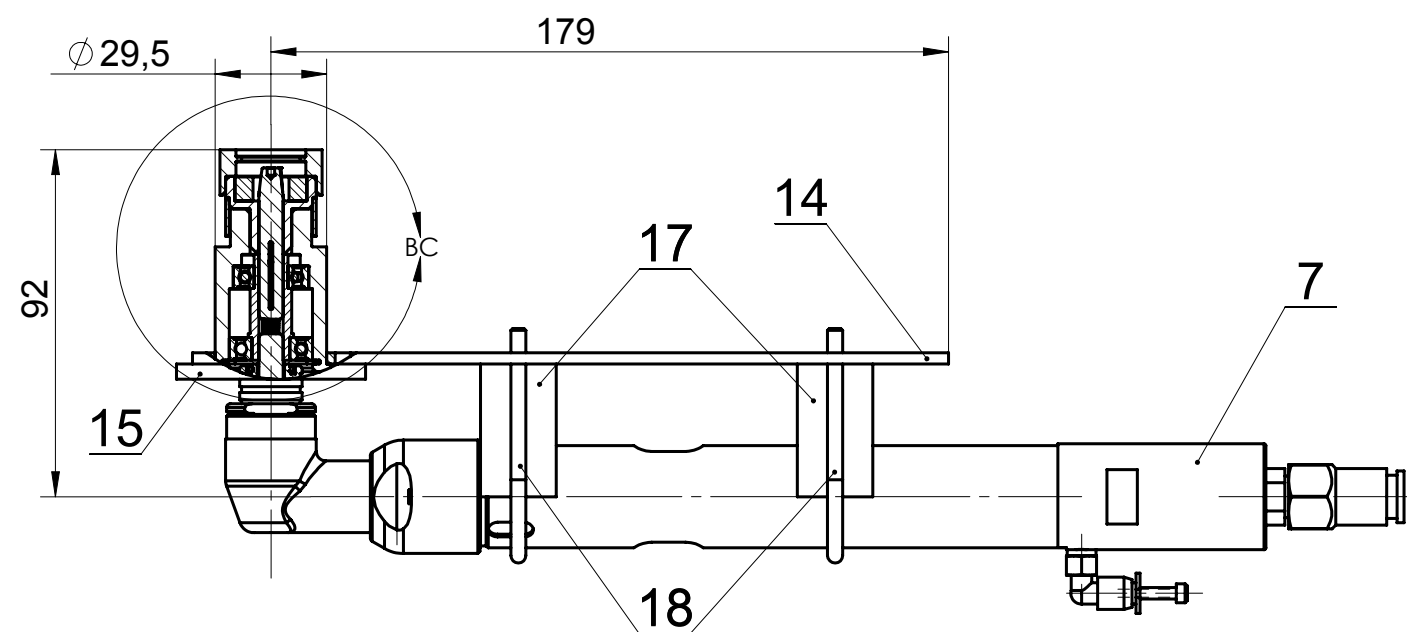
Folha P.08 – Desenho do encosto da aparafusadora

Folha P.09 – Desenho do pino-guia

Folha P.10 – Desenho do bit

Folha P.11 – Desenho do bit da aparafusadora

Folha P.12 – Desenho da braçadeira



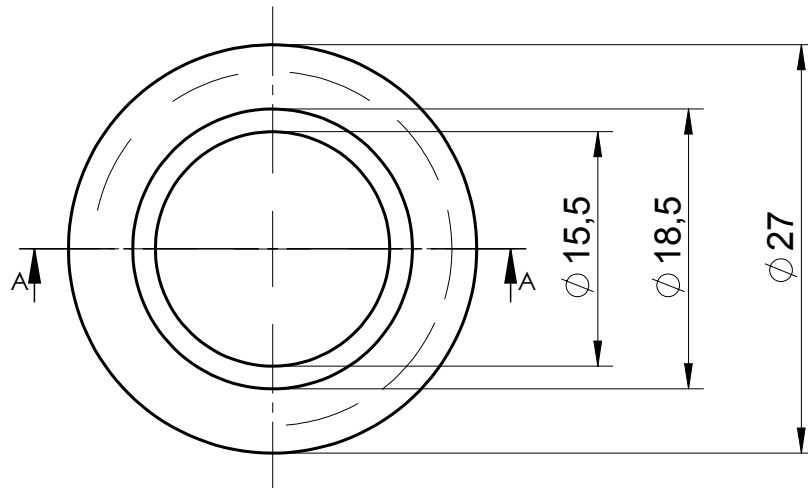
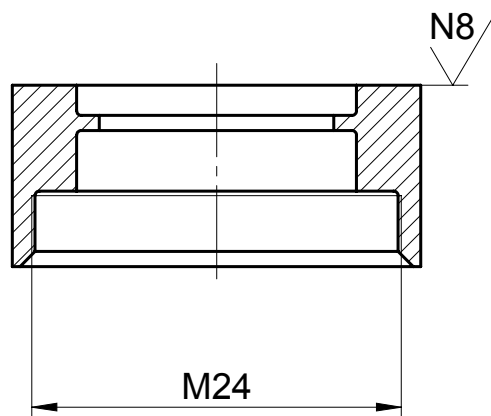
PORMENOR BC  
ESCALA 2 : 1

2	BRAÇADEIRA	P.12	AÇO CK 45	18		14 g	
2	ENCOSTO DA APARAFUSADORA	P.08	AÇO CK 45	17		130 g	
1	PINO-GUIA	P.09	AÇO CK 45	16		0.1 g	
1	ANILHA	P.02	AÇO CK 45	15		29 g	
1	PLACA DO MECANISMO	P.07	AÇO CK 45	14		450g	
1	FREIO	DIN 472	AÇO	13			
1	MANGA TELESCÓPICA	P.04	AÇO CK 45	12		8.5 g	
1	ROLAMENTO	W 61900	VÁRIOS	11		8.7 g	
1	MANGA DE PROTEÇÃO	P.06	AÇO CK 45	10		5.7 g	
1	APOIO DE PARAFUSO SUPERIOR	P.01	AÇO CK 45	9		22 g	
1	APOIO DE PARAFUSO INFERIOR	P.03	AÇO CK 45	8		18 g	
1	APARAFUSADORA	NOTA B	VÁRIOS	7		900g	
1	ROLAMENTO	619_9	VÁRIOS	6		7.6g	
1	MOLA	353-A	NOTA A	5			
1	BIT T-30	P.10	AÇO	4		8.2g	
1	BIT APARAFUSADORA	P.11	AÇO	3		7.3g	
1	ÍMAN	RC62	NdFeB	2		6.6 g	
1	MANGA EXTERIOR	P.05	AÇO CK 45	1		112 g	
Nº	DESIGNAÇÃO	Nº NORMA Nº DESENHO	MATERIAL	Nº REF	PRODUTO SEMI ACABADO Nº MOLDE Nº MATRIZ	PESO	OBSERVAÇÕES

	Projectou		03/06/16	FCT/UNL Dissertação em Engenharia Mecânica 2017	João Tavares de Melo Gaspar Nº39313 MIEMc				
NOTA A :Arame Corda de Piano	Desenhou		03/06/16						
	Verificou		03/06/16						
NOTA B :377-420-7-F6.3 2006161d	Escala:	MECANISMO TELESCÓPICO			P.00				
	1:2								
	NP-265 Médio								

Projectou		06/09/17	FCT/UNL Dissertação em Engenharia Mecânica 2017	João Tavares de Melo Gaspar Nº39313 MIEMc
Desenhou		06/09/17		
Verificou		06/09/17		

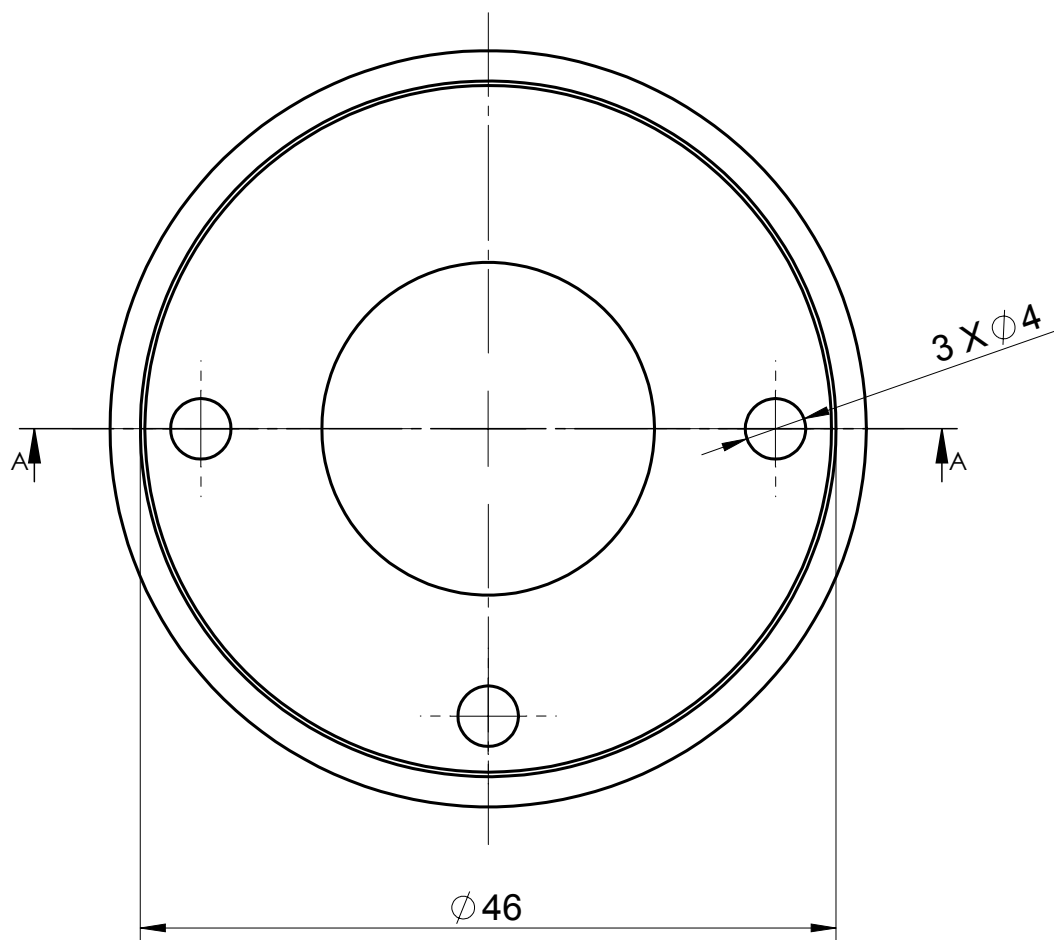
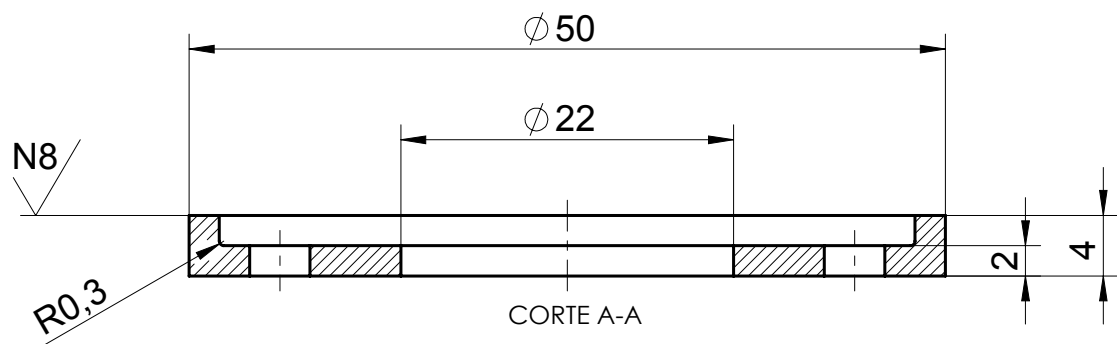
CORTE A-A



N9 geral  
   N8  
   ( )

	2:1	POIO DO PARAFUSO SUPERIOR	P.01
	NP-265 Médio		

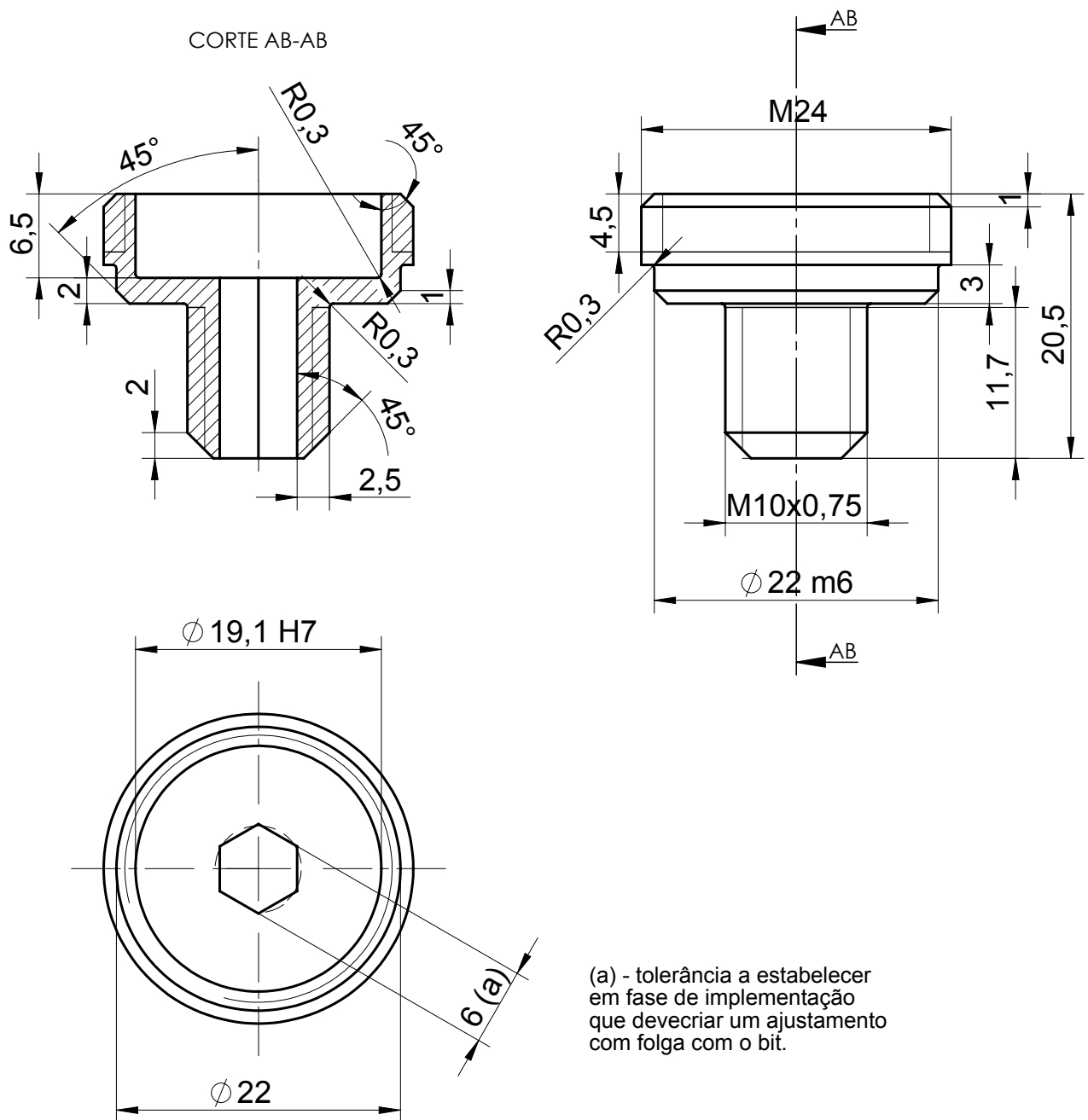
Projectou		06/09/17	FCT/UNL Dissertação em Engenharia Mecânica 2017	João Tavares de Melo Gaspar Nº39313 MIEMc
Desenhou		06/09/17		
Verificou		06/09/17		



N9 geral  
( N8 )

	2:1	ANILHA	P.02					
	NP-265 Médio							

Projectou		04/09/17	FCT/UNL Dissertação em Engenharia Mecânica 2017	João Tavares de Melo Gaspar Nº39313 MIEMc
Desenhou		04/09/17		
Verificou		04/09/17		



N9 **geral**

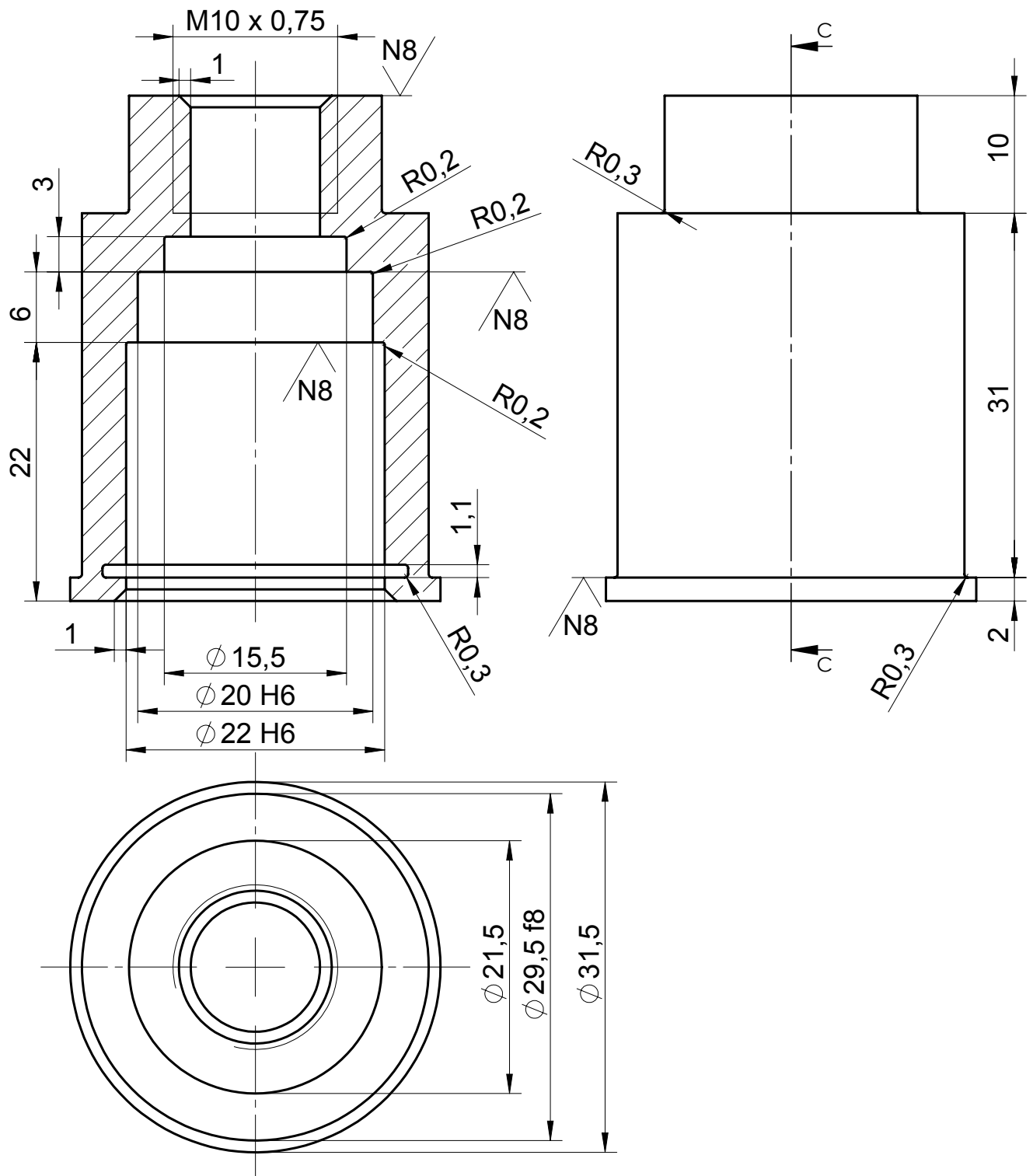
A tolerância do diâmetro de 19.05 mm conjugadas com a tolerância do íman de j6 irá dar origem a um ajustamento ligeiramente preso.  
A tolerância do diâmetro de 22 mm conjugadas com a tolerância da manga de proteção (P.06) de H7 irá dar origem a um ajustamento bloqueado.

	2:1	POIO DO PARAFUSO INFERIOR	P.03
	NP-265 Médio		



Projectou		04/09/17	FCT/UNL Dissertação em Engenharia Mecânica 2017	João Tavares de Melo Gaspar Nº39313 MIEMc
Desenhou		04/09/17		
Verificou		04/09/17		

CORTE C-C



N9 geral  
( N8 )

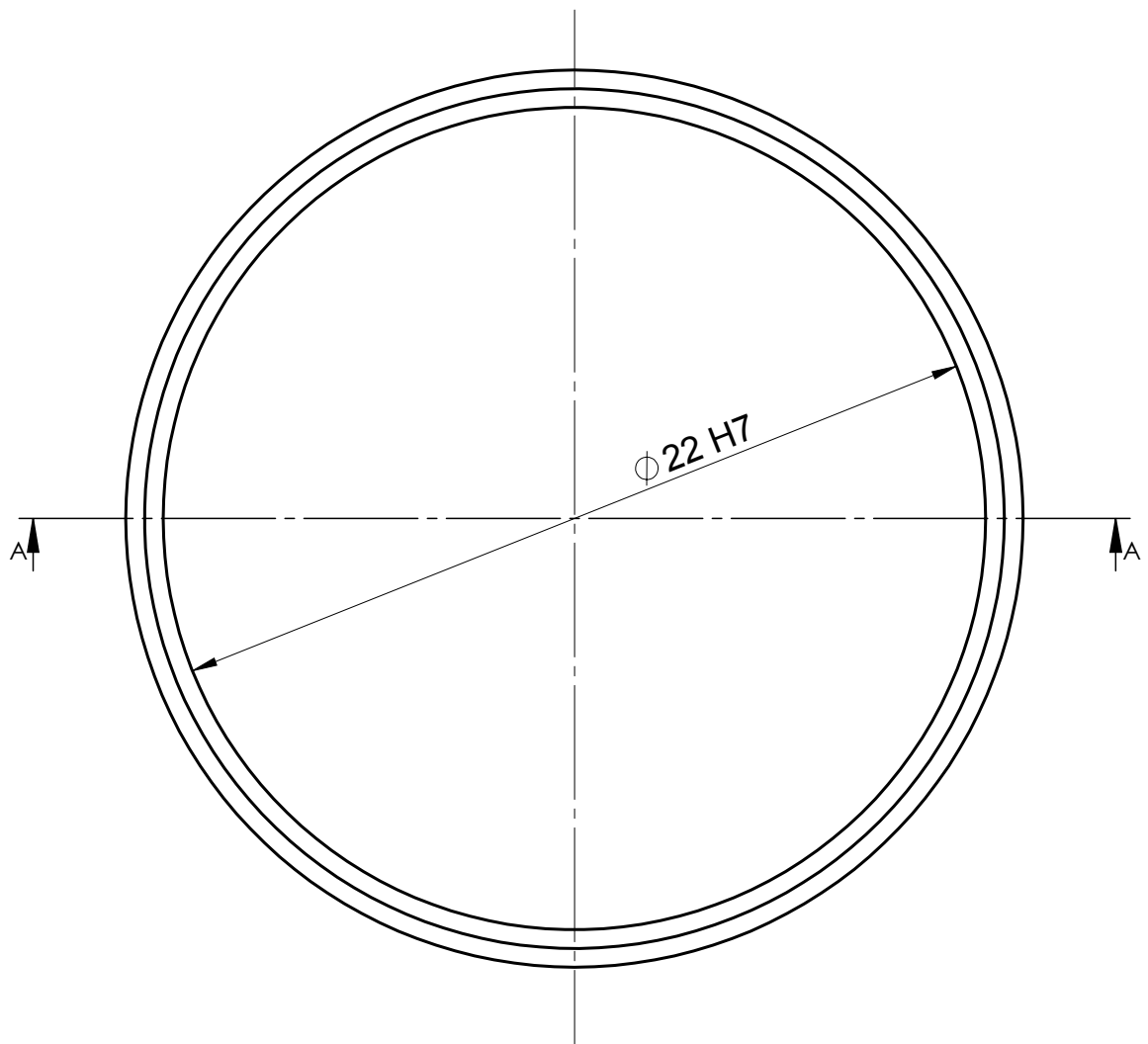
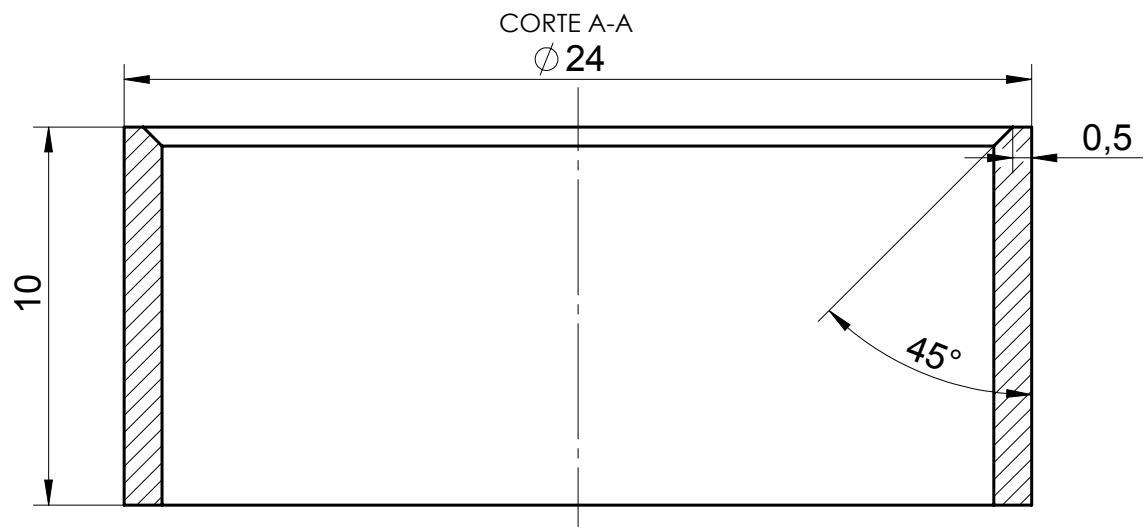
As tolerâncias dos diâmetros de 20 e 22 mm conjugadas com a tolerância dos rolamentos de h5 irá dar origem a um ajustamento apropriado para o caso de rolamentos com veio rotativo (segundo as indicações do livro Desenho Técnico do autor Veiga da Cunha).

A tolerância do diâmetro de 29.5 mm conjugada com a tolerância da placa do mecanismo (P.07) de H8 irá dar origem a um ajustamento rotativo que permite a montagem sem esforço.

	2:1	MANGA EXTERIOR	P.05
	NP-265 Médio		



Projectou		04/09/17	FCT/UNL Dissertação em Engenharia Mecânica 2017	João Tavares de Melo Gaspar Nº39313 MIEMc
Desenhou		04/09/17		
Verificou		04/09/17		

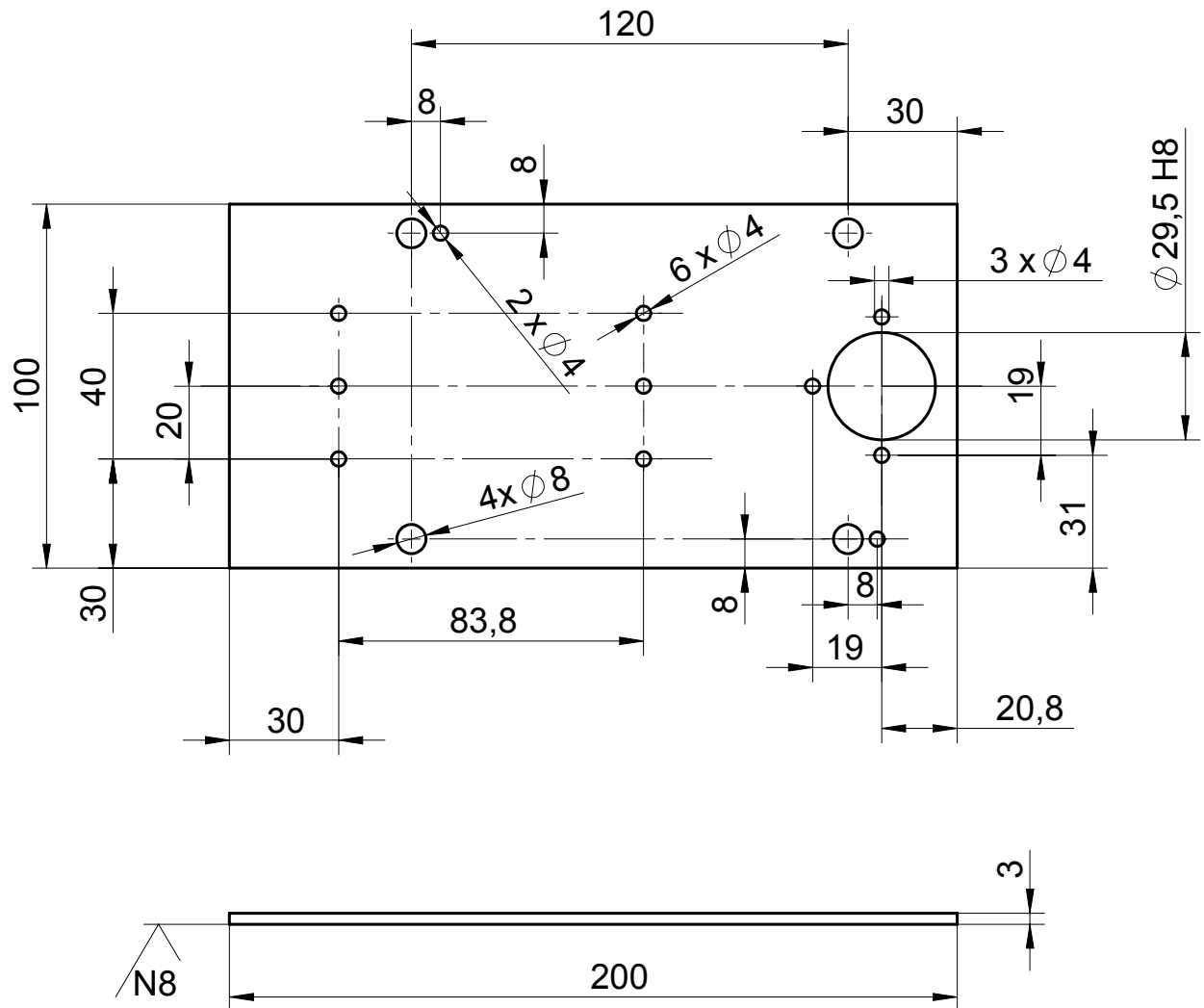


N9 geral

A tolerância do diâmetro de 22 mm conjugada com a tolerância do apoio do parafuso inferior (P.03) de m6 irá dar origem a um ajustamento bloqueado.

	5:1	MANGA DE PROTEÇÃO	P.06
	NP-265 Médio		

Projectou		04/09/17	FCT/UNL Dissertação em Engenharia Mecânica 2017	João Tavares de Melo Gaspar Nº39313 MIEMc
Desenhou		04/09/17		
Verificou		04/09/17		

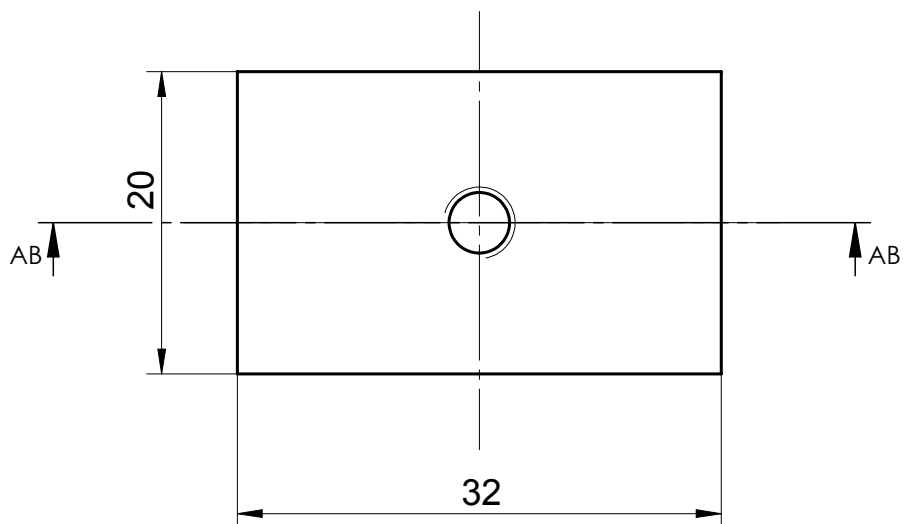
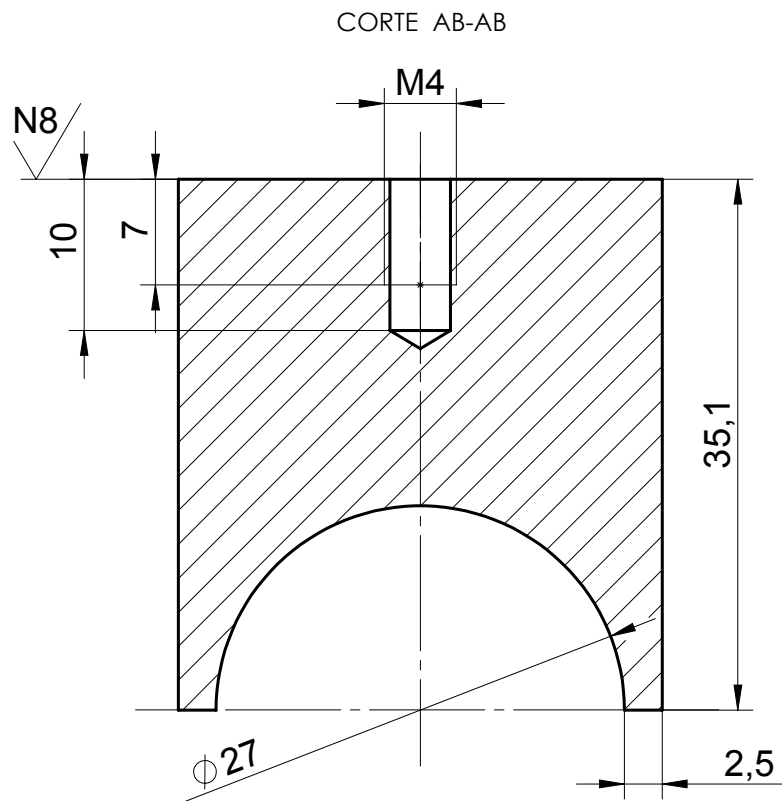


N9 geral  
N8  
(  )

As tolerâncias do diâmetro de 29.5 mm conjugada com a tolerância da manga exterior (P.05) de f8 irá dar origem a um ajustamento rotativo que permite a montagem sem esforço.

	1:2	PLACA DO MECANISMO	P.07
	NP-265 Médio		

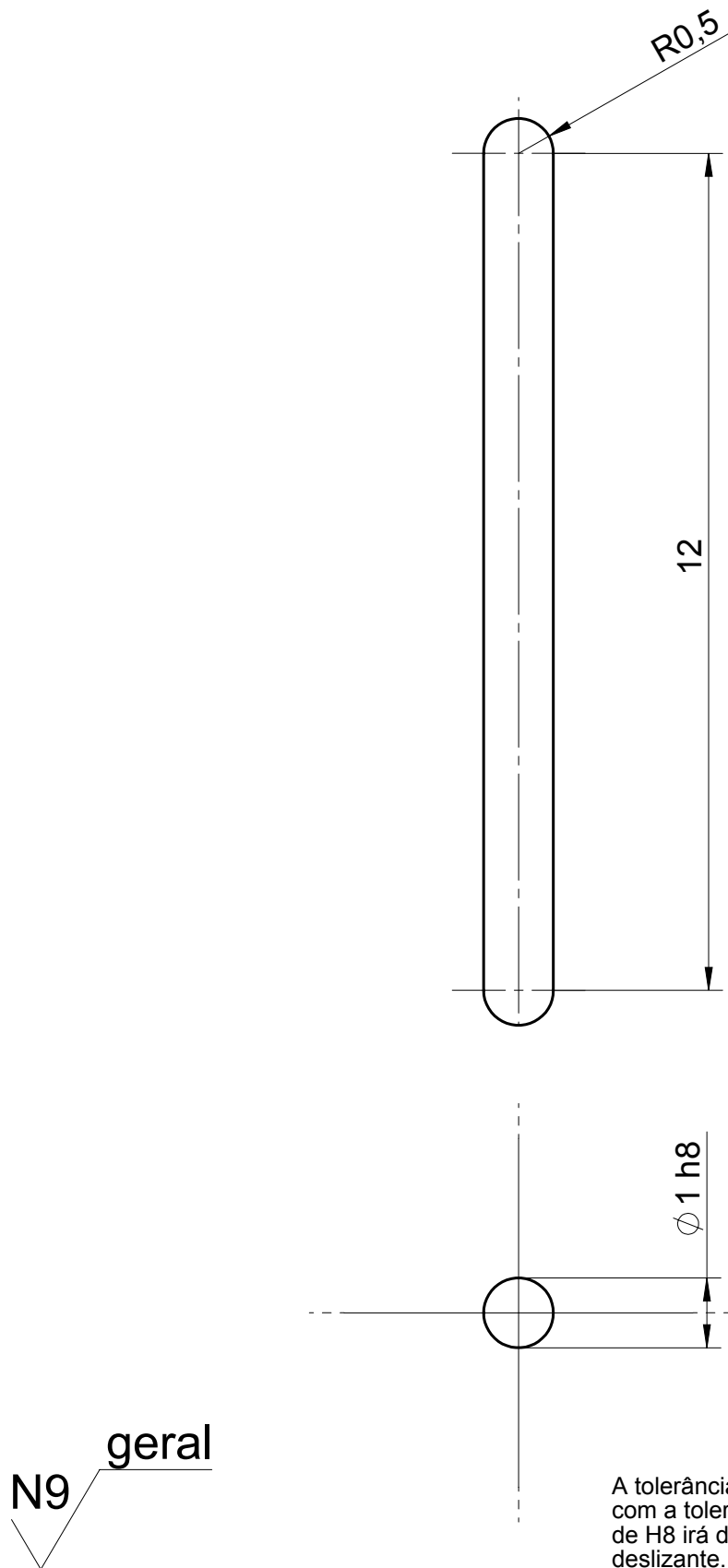
Projectou		04/09/17	FCT/UNL Dissertação em Engenharia Mecânica 2017	João Tavares de Melo Gaspar Nº39313 MIEMc
Desenhou		04/09/17		
Verificou		04/09/17		



N9 geral  
(N8)

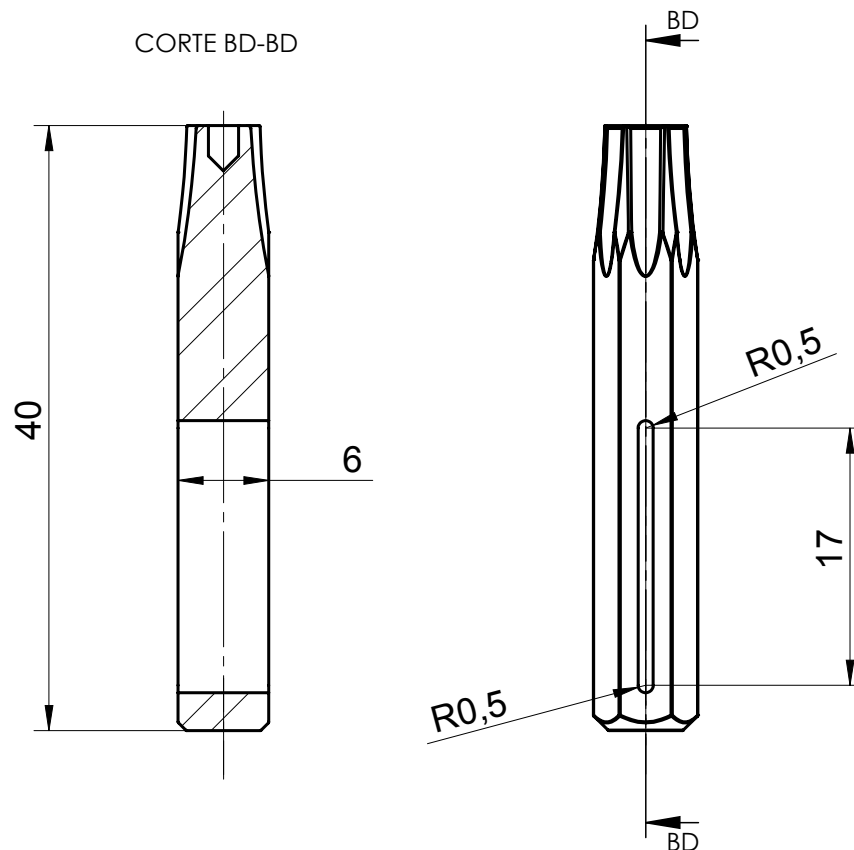
	2:1	ENCOSTO DA APARAFUSADORA	P.08
	NP-265 Médio		

Projectou		04/09/17	FCT/UNL Dissertação em Engenharia Mecânica 2017	João Tavares de Melo Gaspar Nº39313 MIEMc
Desenhou		04/09/17		
Verificou		04/09/17		



	10:1	PINO-GUIA	P.09					
	NP-265 Médio							

Projectou		04/09/17	FCT/UNL Dissertação em Engenharia Mecânica 2017	João Tavares de Melo Gaspar Nº39313 MIEMc
Desenhou		04/09/17		
Verificou		04/09/17		

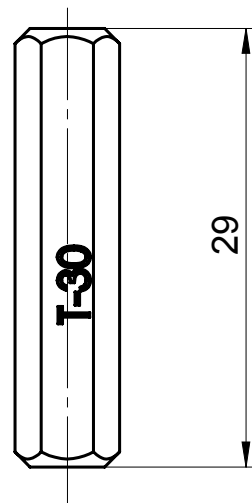


Este componente é normalizado. Deve ser adquirido e depois será feito o rasgo representado e será cortado para a altura apropriada para o projeto.

N9 geral

	10:1	BIT	P.10					
	NP-265 Médio							

Projectou		04/09/17	FCT/UNL Dissertação em Engenharia Mecânica 2017	João Tavares de Melo Gaspar Nº39313 MIEMc
Desenhou		04/09/17		
Verificou		04/09/17		

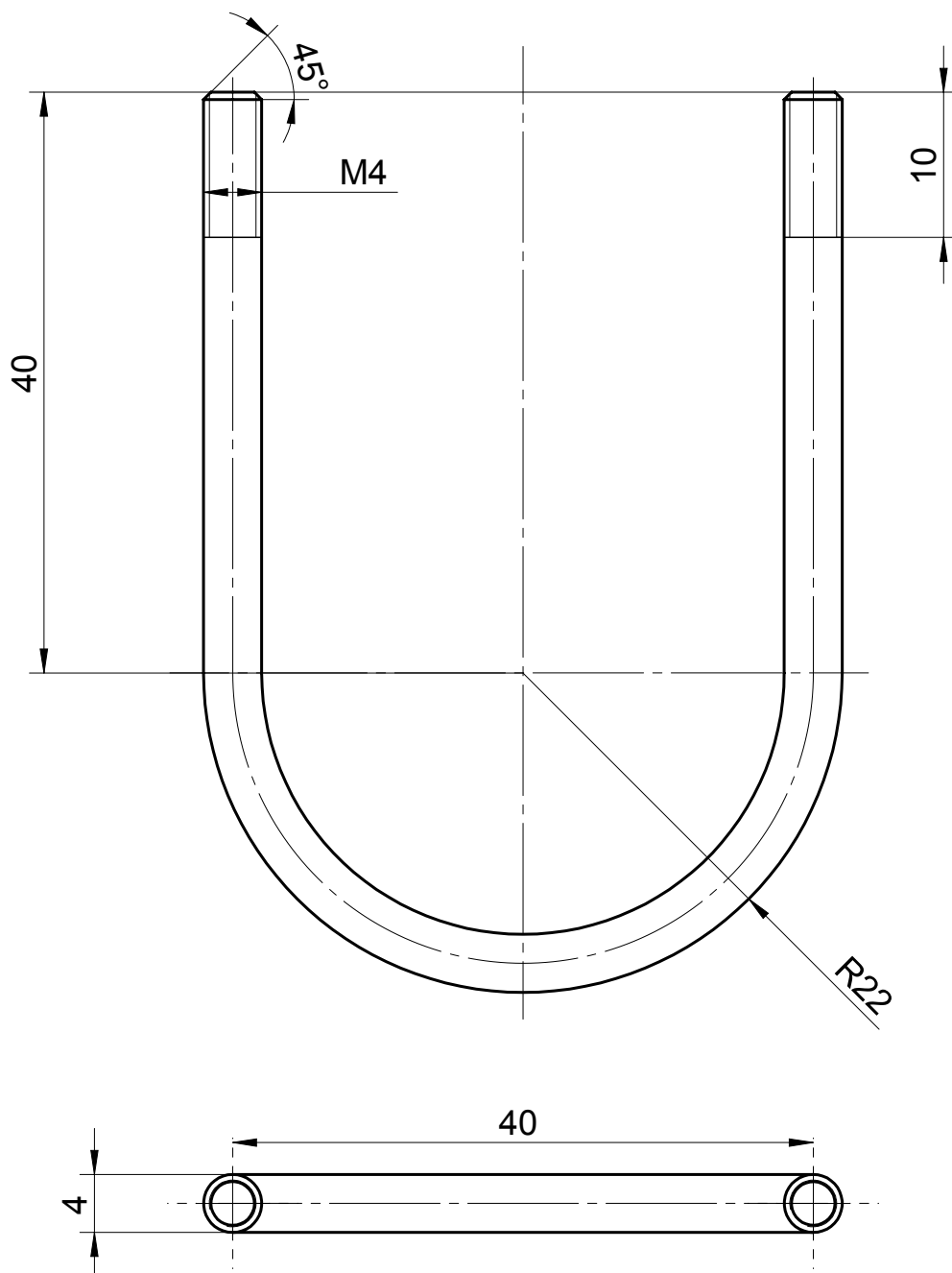


Este componente é normalizado. Deve ser adquirido e depois será cortado para a altura apropriada para o projeto.

N9 geral

	10:1	BIT APARAFUSADORA	P.11					
	NP-265 Médio							

Projectou		04/09/17	FCT/UNL Dissertação em Engenharia Mecânica 2017	João Tavares de Melo Gaspar Nº39313 MIEMc
Desenhou		04/09/17		
Verificou		04/09/17		



	10:1	BRAÇADEIRA	P.12
	NP-265 Médio		